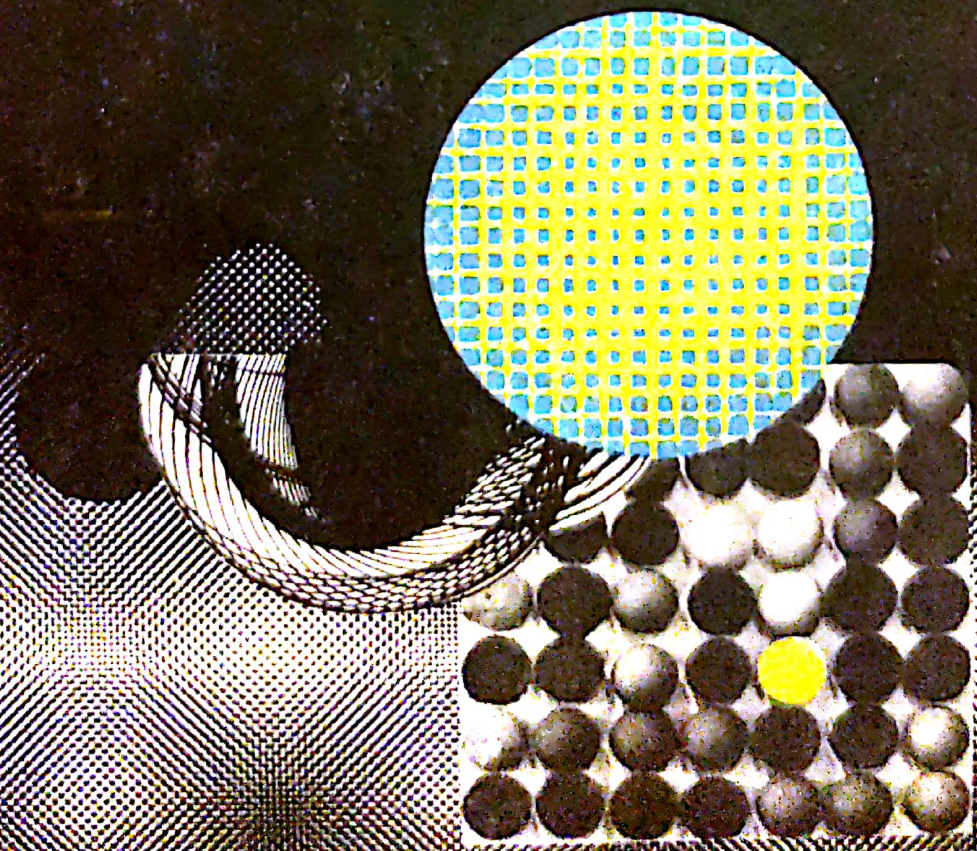
Mariana Beliș

BIOINGINERIA SISTEMELOR ADAPTIVE ȘI INSTRUIBILE



Mariana Beliș

BIOINGINERIA SISTEMELOR ADAPTIVE ȘI INSTRUIBILE

EDITURA ȘTIINȚIFICĂ ȘI ENCICLOPEDICĂ
BUCUREȘTI, 1981

Scanned with OKEN Scanner

Redactor: Ing. FLORICA PLOPEANU
Tehnoredactor: MARIA IONESCU

Coli de tipar: 14. Bun de tipar: 29. XI. 1980

Tiparul executat la Întreprinderea poligrafică Sibiu
sub comanda nr. 68
Șoseaua Alba Iulia nr. 40
Republica Socialistă România

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 1

SISTEME AUTOORGANIZABILE

1.1. Importanţa proceselor de adaptare şi învăţare în lumea biologică

Acum cîteva miliarde de ani, în oceanul primitiv al planetei noastre, au apărut primele molecule organice simple, constituentele de bază ale organismelor vii de mai tîrziu.

Formate pe pămînt, pe cale abiogenă, în condiţiile „supei primitive" şi a atmosferei specifice, încărcate de radiaţii ultraviolete, sau dimpotrivă, importate pe Terra din praful interstelar existent în spaţiul cosmic (pe anumiţi meteoriţi s-au descoperit aminoacizi de origine extraterestră), primele molecule organice au avut de parcurs un drum lung şi încă necunoscut pînă la primele forme de viaţă.

Indiferent de locul din univers în care au apărut, indiferent de constituenţii chimici care le alcătuiesc (carbonul, în cazul planetei noastre), combinarea şi transformarea acestor molecule a trebuit să se facă în sensul obţinerii unor structuri care prin funcţionarea lor să reziste acţiunii distrugătoare a mediului.

Căci viaţa, sub orice formă ar apărea, înseamnă menţinerea integralităţii unei structuri prin mijloace proprii.

De cîte ori se vor fi stins şi refăcut aceste manifestări sporadice şi fragile ale unei noi organizări a materiei, pînă cînd s-a selectat, în sfîrşit, din variantele inimaginabile încercate, soluţia viabilă? Mintea omului n-a putut pătrunde atît de adînc în tainele trecutului, dar acum, în faţa multiplicităţii de forme şi manifestări ale organismelor vii, se întreabă care este secretul existenţei lor. Care este mecanismul care le-a asigurat perpetuarea de-a lungul vremurilor, uneori neschimbate, alteori printr-o incredibilă varietate, dar în

Scanned with OKEN Scanner

toate cazurile asigurînd cu eficacitate supraviețuirea. Căci mecanismul supraviețuirii este eficace. Odată amorsat, printr-o fericită și încă neînțeleasă întîmplare, el se autoîntreține, asigurînd nu numai existența ci și perfecționarea sa.

Produs al acestui mecanism, omul a ascultat docil, de-a lungul mileniilor, comenzile înscrise adînc în zestrea sa ereditară, menite să asigure cele două componente fundamentale: supraviețuirea individului și perpetuarea speciei.

Iată însă că mecanismul se perfecționează; din automatismul său rezultă noi structuri, capabile nu numai să execute corect comenzile înscrise — oricît de dificil ar fi uneori acest lucru — dar să elaboreze comenzi noi, menite să asigure în mod și mai eficace supraviețuirea.

Este vorba de structura nervoasă, cu posibilitățile sale din ce în ce mai mari de prelucrare a informației. Cu ajutorul ei, omul și-a consolidat definitiv existența, supunînd irevocabil vechiul său vrăjmaș, mediul înconjurător. Mai mult decît atît, omul a început să-și pună întrebări asupra propriului său mod de funcționare, să-și sondeze originea, să scruteze viitorul.

Aceasta a generat numeroase studii teoretice și cercetări experimentale, care, pe măsura perfecționării mijloacelor de investigație, au reușit să dea răspunsuri mulțumitoare, dacă nu complete, la unele din aceste probleme.

S-a ajuns astfel la concluzia că autoorganizarea și evoluția sistemelor biologice sînt rezultatul a două procese fundamentale ce se exercită la nivele sistemice și cu mijloace diferite și anume, *adaptarea* la mediu și *învățarea* din experiență.

De la protozoare și pînă la om, ființele vii comunică cu mediul înconjurător. Ele testează proprietățile sale, recepționează semnalele sosite din mediu și *își adaptează* funcționarea pentru a putea coexista cu această entitate necunoscută și puternică.

Formele adaptării variază de la simpla reacție adecvată a organismului, pînă la schimbările structurale și funcționale obținute în succesiunea generațiilor, prin modificarea patrimoniului genetic.

Dar, pe măsură ce posibilitățile de prelucrare a informației au crescut și varietatea semnalelor recepționate s-a lărgit, ființele vii au început să cunoască din ce în ce mai bine lumea înconjurătoare. Comportamentul lor a început să asculte din ce în ce mai puțin de automatismele moștenite și

Scanned with OKEN Scanner

din ce în ce mai mult de comenzile elaborate ad-hoc de către centrii nervoşi.

Eficacitatea şi versatilitatea acestui nou mecanism au asigurat animalului un avantaj important în lupta pentru existenţă; aceasta a dat priză selecţiei naturale şi a contribuit la dezvoltarea, în lungul generaţiilor, a structurii nervoase şi implicit a capacităţii de prelucrare a informaţiei.

Animalul a început *să înveţe* să răspundă stimulărilor mediului şi, în limita posibilităţilor, să-l şi modifice, pentru a-şi satisface necesităţile vitale.

Capacitatea de a învăţa, adică de a înregistra în memorie experienţa trecută pentru a o folosi în situaţii similare ulterioare, este unul din cele mai mari succese evolutive. Izvorît în mod natural din dialogul permanent al animalului cu mediul, acest mecanism este întărit azi în mod deliberat de către fiinţele raţionale ce populează pămîntul, este studiat, şi în ultimul timp, chiar modelat cu ajutorul sistemelor tehnice, ca de altfel şi celălalt mecanism fundamental al supravieţuirii, adaptarea.

1.2. Utilitatea unor sisteme tehnice adaptive şi instruibile şi a unor modele teoretice

Unul din atributele specifice omului este fabricarea de unelte şi dispozitive ajutătoare. Din cele mai vechi timpuri îl vedem pe „Homo faber" preocupat să-şi amplifice forţele musculare, să-şi mărească viteza de deplasare, să-şi lărgească posibilităţile de comunicare cu mediul înconjurător. În ultimul timp a apărut şi efortul de amplificare a inteligenţei, efort destinat, în parte, conducerii unor auxiliari tehnici deosebit de complecşi.

De la regulatorul cu supapă a lui Watt şi pînă la industriile moderne, complet automatizate, urmărim tendinţa omului de a se elibera de comanda permanentă, obositoare a maşinăriilor create de el. Căci, conducerea implică atenţie, pricepere, viteză de reacţie, totul combinat cu o bună cunoaştere a mecanismelor şi proceselor conduse.

Înlocuirea omului în conducerea instalaţiilor tehnice s-a făcut în mai multe etape, care constituie de-abia un început.

Scanned with OKEN Scanner

O primă etapă a constat în inventarea unui dispozitiv care, acţionat de însăşi desfăşurarea procesului, să intervină de cîte ori este nevoie, pentru buna funcţionare a mecanismului. Un exemplu în acest sens îl constituie regulatorul lui Watt de la motorul cu aburi. Cînd presiunea aburilor devine prea mare, aceştia împing un căpăcel — supapă — care se deschide, lăsînd aburii să iasă afară. În felul acesta, omul a putut fi eliberat de operaţia de supraveghere a presiunii aburului.

Sistemele de reglaj automat s-au dezvoltat considerabil în secolul nostru, concomitent cu creşterea diversităţii şi complexităţii proceselor industriale. A luat naştere o „teorie a reglajului automat", în cadrul căreia s-au elaborat principiile generale care stau la baza funcţionării acestor sisteme, indiferent de procesul particular în care se aplică.

Dezvoltarea electronicii a determinat o perfecţionare însemnată a tehnicilor de reglare, atît în ceea ce priveşte precizia şi viteza comenzilor, cît şi în ceea ce priveşte puterea instalaţiilor controlate. Au luat naştere astfel procese tehnologice complet automatizate, în cadrul cărora, pe baza unui program prescris, maşinile execută succesiv, operaţii minuţios reglate, ducînd la realizarea produsului finit: table laminate, rulmenţi, ţesături etc. Desfăşurarea operaţiilor necesare este condiţionată de însăşi structura instalaţiei, precum şi de comenzile sosite de la blocul de reglare. Pe măsură ce procesele conduse au devenit mai complexe, elaborarea comenzilor a implicat un volum mai mare de calcule, de prelucrare a informaţiei.

Dezvoltarea tehnicii numerice şi a mijloacelor automate de prelucrare a informaţiei au introdus o dimensiune nouă în domeniul reglajului automat. Utilizarea calculatorului electronic pentru conducerea proceselor industriale a permis lărgirea clasei proceselor controlate şi preluarea — de către maşini — a unei părţi mai mari din activitatea decizională a omului.

Într-adevăr, sistemele clasice de reglaj sînt proiectate pentru a îndeplini o anumită operaţie (sau succesiune de operaţii) în condiţii bine determinate ale procesului controlat. Orice schimbare în desfăşurarea acestui proces, solicită intervenţia omului, care trebuie să modifice programul de reglare în consecinţă. Pentru a suplini intervenţia omului în aceste împrejurări (care nici nu sînt totdeauna previzibile), ar fi de dorit ca maşina să-şi poată modifica singură comenzile sau

Scanned with OKEN Scanner

structura, astfel încît parametrii instalației reglate să se mențină la valorile optime.

Au luat astfel naștere sistemele de reglaj *adaptive*, care își modifică caracteristicile regulatorului, menținînd o funcționare optimală a instalației. Programele rigide ale sistemelor clasice de reglaj au început a fi înlocuite cu sisteme de calcul, capabile de a culege date asupra procesului reglat, de a decide asupra comenzilor adecvate și de a ajusta în permanență aceste comenzi în vederea optimizării procesului.

În fine, atunci cînd posibilitățile de calcul ale mașinii, combinate cu cele de memorie, au devenit suficient de puternice pentru a putea înregistra și utiliza ulterior experiența dobîndită, a luat naștere clasa sistemelor de reglaj *adaptive și instruibile*, a căror elaborare este încă în curs.

Crearea unor sisteme tehnice capabile să „învețe", deci capabile să-și perfecționeze funcționarea prin mijloace proprii a ridicat nenumărate problemele teoretice și practice. Studiul s-a făcut pe modele; s-au elaborat modele teoretice (matematice, informaționale) ale procesului de învățare și s-au construit modele tehnice (mașini, programe), care să pună în evidență unele caracteristici ale acestui proces.

Aceste modele prezintă nu numai un interes aplicativ, așa cum s-a menționat, dar și un interes conceptual privind aprofundarea procesului de învățare a sistemelor biologice.

1.3. Bioingineria sistemelor adaptive și instruibile

Unul dintre principiile fundamentale care stau la baza funcționării sistemelor de reglaj automat este acela al retroacțiunii sau conexiunii inverse. Dar, pe la mijlocul secolului nostru, s-a observat că același principiu este utilizat și de ființele vii în funcționarea lor și că, la un anumit nivel de abstractizare, procesele de reglaj care au loc în lumea inertului și a viului ascultă de aceleași legi.

Analogia unificatoare propusă de cibernetică a determinat studierea, într-o optică nouă, a proceselor biologice și în același timp, elaborarea de sisteme tehnice din ce în ce mai autonome.

Aplicarea metodelor și conceptelor inginerești în lumea viului, introducerea limbajului matematic și încercările de modelare a unor procese vitale cu dispozitive tehnice, și în

Scanned with OKEN Scanner

special cu ajutorul calculatorului, toate acestea reprezintă noi și fertile căi de cercetare din cadrul „ingineriei biosistemelor", disciplină recent constituită și deocamdată imprecis delimitată. Căci, atacînd atît aspectele teoretice, fundamentale, ale funcționării ființelor vii la diferite nivele sistemice, cît și întreaga gamă de aplicații tehnico-industriale pe care le suscită cunoștințele biologice, bioingineria interferă cu biocibernetica, cu bionica și chiar cu biofizica.

Cu ajutorul conceptelor tehnice s-a căutat explicarea numeroaselor mecanisme fiziologice de tip homeostatic, abilitatea cercetătorului constînd în a găsi corespondența între elementele biologice și diversele blocuri funcționale ale schemei de reglaj automat: comparatorul, regulatorul, procesul controlat, circuitul sau traductorul de reacție. Trebuie menționat că aceste blocuri nu sînt totdeauna discernabile ca atare în orice sistem sau subsistem biologic în care iau, uneori, forme specifice. Dar, în cazul oricărui sistem cu autoreglare, logica acestei scheme se păstrează. Pentru o înțelegere mai adîncă a fenomenului, schema bloc odată stabilită, ea trebuie completată cu descrierea cantitativă a fenomenelor care au loc. Aceasta revine la a scrie relațiile care leagă variabilele de intrare și cele de ieșire ale subsistemelor componente, relații care iau uneori forma unor ecuații algebrice sau diferențiale sau a unor relații probabilistice. Aceste relații se bazează pe legi cunoscute din fizică sau chimie, sau pe date experimentale. Ele formează *modelul matematic* al procesului, al cărui *model funcțional* este reprezentat de schema bloc.

Se înțelege că prin aplicarea acestei metode de cercetare a proceselor biologice, se ajunge la o descriere mai riguroasă a fenomenelor, la o mai bună înțelegere a desfășurării lor. Dar această metodă nu este numai descriptivă; ea este și operativă, deschizînd noi căi de cercetare, noi metode experimentale. După unii autori, „ingineria sistemelor este prin excelență o disciplină activă care își propune să găsească mijloacele prin care un biosistem poate fi făcut să aibă o comportare dorită"[1]. Cunoscînd — calitativ și cantitativ — interacțiunile care condiționează procesul studiat, se poate interveni în diferite puncte ale lanțului pentru a modifica, ameliora, într-un cuvînt controla, desfășurarea procesului. Ceea ce interesează pe inginer, respectiv pe biolog, în studiul unui astfel de sistem, este cunoașterea comportării sale în regim staționar (cînd variabilele de intrare și de ieșire sînt constante)

[1] Dan Teodorescu, *Ingineria biosistemelor*, Ed. Facla, Timișoara, 1978.

Scanned with OKEN Scanner

sau în regim dinamic (se variază brusc variabilele de intrare și se observă răspunsul în regim tranzitoriu); uneori este util să se poată tăia rețeaua în diferite puncte pentru a studia separat unele elemente ale sistemului. Rezultate interesante se pot obține întrerupînd bucla de reacție pentru a studia amplificarea sistemului fără reacție, sau variind coeficientul de transfer al buclei de reacție precum și faza semnalelor transmise, pentru a controla amorsarea oscilațiilor (se știe că pentru anumite reacții, convenabile ca modul și fază, un amplificator începe să oscileze).

Dacă toate aceste operații sînt relativ ușor de efectuat în sistemele tehnice, efectuarea lor în sistemele biologice este infinit mai delicată din cauza complexității circuitelor și a dificultății de a lucra „pe viu". Ele ar permite însă aprofundarea a numeroase procese. De exemplu maladia lui Parkinson, oscilația continuă a pupilei (hippus), epilepsia și însăși proliferarea celulelor canceroase ar putea fi considerate ca oscilații (parazite) ale unui sistem care a dobîndit în mod accidental o buclă de reacție pozitivă; localizarea acestei bucle și întreruperea ei ar putea duce la oprirea oscilațiilor.

Procesele de adaptare și instruire au intrat, în ultimul timp, în atenția inginerilor, tocmai datorită implicațiilor de ordin tehnic pe care acestea le-au suscitat. Datele cunoscute din cercetările biologice, neurologice și psihologice au început să fie analizate în lumina noilor concepte de informație, semnale de comandă, sistem de reglaj etc.

În toate cazurile s-a urmărit descrierea calitativă și cantitativă a fenomenelor studiate, încadrarea lor în legități cunoscute sau în altele, specifice vieții.

Aprofundarea acestor procese a permis modelarea lor. S-au realizat astfel modele matematice ale adaptării, ale evoluției, ale învățării, precum și modele tehnice ale acestor procese, realizate în cele mai variate forme.

Așa cum și natura a creat nenumărate modalități prin care viețuitoarele s-au adaptat la mediu și au învățat să-și modifice comportamentul pentru a supraviețui, tot astfel și mintea omului a dat dovadă de o inventivitate remarcabilă în a construi automate capabile să se autoorganizeze în vederea unui scop. Lipsa de unitate din acest domeniu este o consecință a inventivității menționate, precum și a complexității acestor procese, încă insuficient cunoscute.

Dar, cu toate aceste greutăți, sîntem martori, în cea de a doua jumătate a secolului nostru, la realizarea unor progrese

Scanned with OKEN Scanner

importante pe linia înțelegerii proceselor naturale de adaptare și instruire, precum și în ceea ce privește elaborarea unor sisteme tehnice cu posibilități în acest sens. Evident, acestea din urmă nu reproduc fidel mecanismul celor dintîi. Și nici nu ar fi posibil, avînd în vedere organizările structurale diferite ale celor două tipuri de sisteme. Dar, nu e mai puțin adevărat, că din studiul sistemelor biologice au rezultat nenumărate idei pentru realizarea sistemelor tehnice și că, datorită acestor realizări, sistemele biologice au putut fi mai bine înțelese.

Este unul din domeniile în care cercetările au avut rezultate pozitive atît pe linia cunoașterii, cît și pe linia realizărilor practice, utile.

În paginile ce urmează, cele două procese, de adaptare și de instruire, sînt privite ca procese informaționale, destinate elaborării unor comenzi în vederea autoorganizării sistemului. În felul acesta, analiza lor se poate face într-un limbaj comun atît în domeniul biologic, cît și în cel tehnic.

Informația pe care sistemul o prelucrează în vederea autoorganizării este recepționată din mediul înconjurător. În capitolul II se face o scurtă descriere a mijloacelor utilizate de către cele două tipuri de sisteme pentru a comunica cu mediul.

Capitolul III este consacrat analizei, cu ajutorul conceptelor derivate din teoria reglajului automat, a procesului de adaptare biologică, atît la nivel ontogenetic, cît și, mai ales, la nivel filogenetic; aceasta pune în lumină noi aspecte ale proceselor menționate și, pe de altă parte, duce, prin analogie, la crearea de modele tehnice cu posibilități de autoorganizare.

Caracteristicile procesului de instruire biologică, modelele teoretice și tehnice pe care acesta le-a suscitat, formează obiectul capitolului IV. În cadrul acestui proces, rolul prelucrării informației este fundamental; de aceea în acest capitol se face apel la noțiuni din teoria și tehnica transmisiei informației. Se acordă o deosebită atenție proceselor de recunoaștere a formelor și de rezolvare a problemelor, procese în care tehnicile de instruire ocupă un loc important.

Problemele expuse reflectă tendința majoră a lumii științifice contemporane, spre cercetările interdisciplinare, cît și propriile contribuții ale autoarei, publicate în revistele de specialitate.

Cartea este destinată tuturor celor ce doresc să abordeze domeniul fecund și în plină dezvoltare al bioingineriei.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 2

REFLECTARE, COMUNICAȚIE, STRUCTURĂ

2.1. Conexiunea informațională dintre sistem și mediu

Un *sistem deschis* efectuează schimburi de substanță și energie cu mediul înconjurător. În această categorie intră orice sistem — tehnic sau biologic — care preia substanțe sau energie din mediu, și le utilizează, degradîndu-le, pentru întreținerea funcționării sale. Un alt aspect al influențelor reciproce care au loc între obiectele și fenomenele lumii materiale este acela al *reflectării*; aceasta este o însușire generală a materiei, prin care, caracteristicile unui obiect sau fenomen se modifică sub influența altui obiect sau fenomen. Evident, „influența" este tot de natură materială, adică energetică sau de substanță. Prin aceste modificări, sistemele nu își pierd, în general, caracteristicile de bază, ci își alterează doar, în măsură mai mare sau mai mică, structura sau funcționarea; există însă și influențe puternice care antrenează modificări fundamentale, în general distructive, ale sistemului.

Spre deosebire de absorbția de energie și substanță din mediu, care se face în mod selectiv, în baza unui plan determinat (genetic sau prin proiectare) pentru asigurarea funcționării sistemului, reflectarea are un caracter neselectiv, nedeterminat și în majoritatea cazurilor amenință integralitatea sistemului.

Odată cu apariția primelor forme de viață, reflectarea, însușire generală a materiei, devine *excitabilitate*, adică reactivitate nediferențiată față de stimulii exteriori. Această reactivitate este folosită de ființele vii pentru a-și crea condiții cît mai bune de funcționare, pentru a-și menține organizarea proprie.

Spre deosebire deci de sistemele inerte, care suportă în mod pasiv acțiunea — în general dezorganizatoare — a mediului, sistemele vii acționează în sensul menținerii integralității lor, în prezența — și în pofida — acțiunii mediului. *Formația activă*, cum numesc unii autori ființa vie[1], este primul sistem pentru care reflectarea capătă un caracter antientropic.

Pentru a putea folosi proprietățile mediului înconjurător în scopul menținerii propriei structuri, sistemele vii au trebuit să *cunoască* aceste proprietăți, în vederea elaborării unor comenzi (interne sau externe) menite să pună în concordanță funcționarea lor cu caracteristicile mediului. Apare o legătură de tip nou între sistem și mediu, în afara celei energetice și de substanță, și anume, *legătura informațională*.

Trecerea de la schimbul de *substanțe* sau energie la schimbul de *informație* s-a făcut progresiv, pe măsura evoluției sistemelor biologice și a creșterii complexității lor. Avînd în vedere că informația însăși este vehiculată pe un suport material, este foarte dificil de separat, pentru organismele primitive, recepția de substanțe strict vitale de aceea de substanțe purtătoare de informație, cu atît mai mult cu cît în acest stadiu nu există organe specializate pentru recepția informației.

Să luăm exemplul unui protozoar, cum este amiba. Ea este *informată* de prezența unei bacterii în mediul înconjurător, pe cale chimică, datorită substanțelor secretate de bacterie. Acestea constituie substanțe activatoare pentru enzimele contractile ale amibei care începe să se îndrepte spre bacterie, pe care o va îngloba în protoplasmă pentru a o digera prin fagocitoză.

Se observă că, pe această treaptă de dezvoltare, informația se confundă aproape cu suportul ei fizic, iar pentru recepția ei nu este nevoie de organe specializate. Apare o diferențiere doar la nivelul enzimelor protoplasmatice, din care unele sesizează prezența unor anumite substanțe chimice și se contractă, altele servesc la digerarea bacteriei (enzime solubile) etc.

Se observă deci o reacție *globală* a organismului ca răspuns la stimulii externi. Numai prin apariția unei rețele de transmisie a informației exterioare în organism — sistemul nervos al animalelor evoluate — reacțiile devin *localizate*,

---

[1] E. Katz, *Creier uman și creier artificial*, Ed. științifică și enciclopedică, București, 1977.

Scanned with OKEN Scanner

specifice față de un anumit excitant, gradate în funcție de intensitatea și semnificația excitantului. Simpla excitabilitate a organismelor primitive, devine ulterior *senzație*.

Cu cît informația primită din mediu este mai mare, cu atît animalul își poate controla mai eficient comenzile interne și externe pentru a-și asigura integralitatea. Creșterea cantității de informație recepționată a constituit un avantaj selectiv, ceea ce a făcut ca, în cursul evoluției, să se structureze progresiv anumite organe capabile să sesizeze în mod mai eficace prezența hranei sau a dușmanilor, sau a oricărui factor de interes vital pentru organism. Eficacitatea a mers în sensul creșterii distanței de recepție și a diversității semnalelor recepționate.

Cantitatea de informație primită din mediu este condiționată de diversitatea și calitatea receptorilor cu care este echipat sistemul. Din varietatea agenților fizici externi, fiecare animal este sensibil doar la cîteva tipuri de excitanți pentru care posedă organe receptoare specializate. Mediul înconjurător se reflectă în ființa vie, filtrat prin intermediul organelor de simț. O mare parte din manifestările lumii materiale îi rămîn astfel necunoscute. Numai omul a reușit să pătrundă, progresiv, în această lume ascunsă, prin intermediul mijloacelor tehnice, ceea ce a mărit considerabil cantitatea de informație recepționată. În plus, datorită creșterii capacității de prelucrare a informației, adică prin cunoașterea rațională, omul a început să pătrundă mai adînc în esența fenomenelor.

Cum se efectuează, în linii mari, comunicația cu mediul?

Prin intermediul organelor de simț (receptoare), animalele superioare pot primi informații de la excitanți mecanici (presiune, atingere, tracțiune, deformare, torsiune), de la excitanți chimici (gust, miros), radiații electromagnetice (radiații luminoase sau din domeniul infraroșu: radiații termice sesizate de termoreceptori), unde sonore. La acestea se adaugă informațiile provenite din mediul intern al organismului (de natură mecanică, chimică sau termică).

Organele receptoare realizează, pe lîngă *filtrarea* stimulilor specifici, și *codarea* informației legată de aceștia într-o formă care să poată fi ușor transmisă și prelucrată de organism. Astfel se transmit informații asupra *calității* stimulului, a *intensității* sale, *a desfășurării* sale în timp și a *distribuției* sale spațiale.

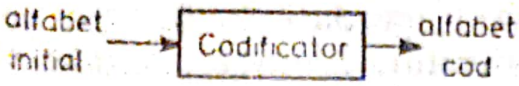


Fig. 2.1

Operația de *codificare* realizată de receptorii biologici se întîlnește în toate sistemele tehnice de transmisie a informației. Rolul codificatorului este dublu. Pe de o parte, el transformă semnalele de intrare, purtătoare de informație, în alte semnale, adecvate transmisiei pe linie; altfel spus, el realizează o corespondență între elementele a două mulțimi (fig. 2.1.), numite alfabetul inițial (de intrare) și alfabetul cod (de ieșire). Pe de altă parte, printr-o codificare adecvată se poate micșora influența perturbațiilor, adică a semnalelor aleatoare, care modifică semnalul util. Această problemă fiind de prim ordin în sistemele tehnice de comunicație, există o mare varietate de coduri *detectoare* și *corectoare* de erori.

În sistemele biologice, operația de transformare a energiei externe în impuls nervos specific este realizată de porțiunea *aneurală* a receptorului (corpuscul tactil, conul sau bastonașul unei celule vizuale etc.). Aceasta generează așa-numitul *potențial electric receptor*, care acționează asupra terminației amielinice a neuronului receptor. La acest nivel se realizează însumarea acțiunilor stimulante și se face trecerea spre porțiunea mielinică, în care iau naștere potențiale de acțiune (impulsuri) modulate în frecvență. Schema echivalentă[1] a unui receptor biologic este dată în figura 2.2.

În ceea ce privește sensibilitatea receptorilor, domeniul lor de lucru cuprinde o anumită regiune delimitată de un *prag inferior* (valoarea minimă a stimulului ce provoacă o excitație specifică) și un *prag superior* (determinat de tole-

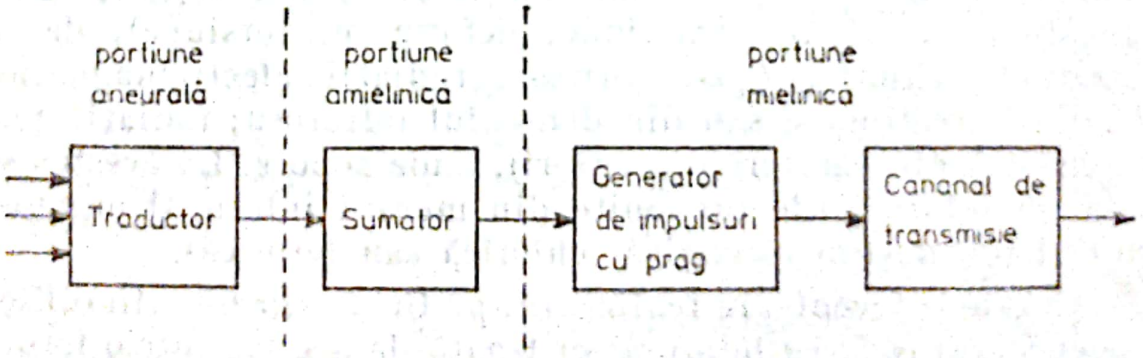


Fig. 2.2

[1] Edm. Nicolau, C. Bălăceanu, *Elemente de neurocibernetică*, Ed. științifică, București, 1967.

Scanned with OKEN Scanner

ranţa funcţională a receptorului şi de la care începe o reacţie de apărare).

Celelalte două caracteristici ale semnalelor stimulatoare, desfăşurarea temporală şi cea spaţială implică, pentru a fi codificate, atît tipuri particulare de receptori, cum ar fi cei care semnalizează începutul şi sfîrşitul unei excitaţii, cît şi circuite de prelucrare a informaţiei la nivelul sistemului nervos central[1].

De-a lungul staţiilor releu prin care sînt transmise semnalele, de la receptori la zonele corticale, are loc un proces de *analiză* a proprietăţilor specifice ale acestora. La nivelele corticale superioare au loc operaţiile de integrare şi asociere prin care se *sintetizează* însuşirile generale ale configuraţiei excitante.

Informaţiile recepţionate din mediul exterior prin intermediul organelor de intrare sînt deci transmise, în mod codificat, spre centrii de prelucrare. Prelucrarea se face pe baza unui program dat, sau elaborat ad-hoc, şi are drept rezultat, în general, luarea unei decizii care se exteriorizează prin intermediul organelor de ieşire. Acestea pot fi considerate ca *traductoare* care transformă semnalele de comandă interne în semnale adecvate mediului extern, sau ca *decodificatoare*, care realizează o corespondenţă între două mulţimi de semnale.

Organele efectoare ale sistemelor biologice sînt celulele secretorii endocrine şi exocrine, fibrele musculare netede şi striate, organele vocale, sau, la unele specii de peşti, organe electrice ce generează descărcări electrice şi ţesuturi care generează semnale luminoase.

În transmisia informaţiei de la organele receptoare la scoarţa cerebrală şi de aici la organele efectoare au loc o serie de procese de prelucrare, a căror înţelegere este de abia la început. Prin aplicarea în acest domeniu a conceptelor din teoria şi tehnica transmisiei informaţiei, datele neurofiziologice acumulate în ultimele decenii încep să fie organizate în modele logico-funcţionale capabile să reprezinte anumite aspecte ale funcţionării sistemului nervos.

Într-o lucrare recentă se elaborează un astfel de model. Autorul pleacă de la ipoteza că circuitele neuronale prin care

---

[1] I. Baciu, *Cum funcţionează creierul*, Ed. Dacia, Cluj, 1975.

circulă influxul nervos pot fi de două tipuri și anume[1]: circuite de transmisie a semnalelor sau circuite oscilante. În orice caz, circuitele neuronale sînt circuite cu feedback și proprietățile lor depind de poziția în planul complex a valorilor proprii corespunzătoare. S-a elaborat o modelare a sistemului format din analizorul receptor de oscilații și generatorul de impulsuri determinate de prezența stimulului. În schema de modelare s-a implementat și un circuit de diferențiere și s-au determinat teoretic secvențele de impulsuri care rezultă pentru diferite tipuri de stimuli. Secvențele de impulsuri obținute coincid cu secvențele de impulsuri înregistrate la electroencefalograf.

Se admite că influxul nervos prin intermediul căruia se transmite sau se prelucrează informația este constituit din secvențe de impulsuri modulate în frecvență și că recuperarea semnalului modulator se realizează printr-un proces de demodulație similar cu cel întîlnit în sistemele tehnice de comunicație cu modulație de frecvență.

Autorul a introdus conceptul de reglare automată a transmitanței în sistemul nervos, semnalul de comandă fiind luat după demodulația secvențelor de impulsuri transmise prin circuitele neuronale corespunzător schemei de modelare a sistemului nervos propus. Semnalul de comandă crește odată cu intensitatea semnalului modulator nervos și deci a excitației. Prin reglarea automată se reduce transmitanța prin circuitele neuronale, odată cu mărirea stimulului. În același timp, se reduce posibilitatea de oscilație a circuitelor oscilante cu feedback pozitiv important. Reglajul automat al transmitanței prin circuitele neuronale ale sistemului nervos aplicat pe schema de modelare dată, explică mai multe fenomene din fiziologia sistemului nervos și anume: reglarea automată a intensității semnalului transmis prin circuitele neuronale și a rezultatului demodulării secvențelor de impulsuri; blocarea circuitelor oscilante de ritm în prezența unor stimuli de mare intensitate; apariția unor ritmuri rapide la transmisia unor influxuri nervoase, purtătoare de informație, modulate în frecvență. Modelul propus justifică, de asemenea, fenomenul de adaptare în general și pentru ritmul α în particular. Pe baza

---

[1] Gh. Cartianu, *Model funcțional pentru transmisia și prelucrarea informației în sistemul nervos*. Conferință prezentată la Universitatea tehnică din Dortmund (RFG) în iulie 1977 și publicată în *Revue roumaine des sciences techniques*, tome 23, nr. 2, 1978.

Scanned with OKEN Scanner

modelului adoptat s-a încercat să se dea o explicaţie a modului de generare a oscilaţiilor în transmisia extrasensorială (ESP), a modului de introducere a informaţiei codate la emisie şi a modului de recuperare a informaţiei la recepţie.

Pentru explicarea fenomenului de memorizare de scurtă sau de lungă durată, ca şi a fenomenului de recunoaştere, este de o deosebită importanţă procesul de conversie a informaţiei dintr-o succesiune de date ce se desfăşoară în timp, într-o structură spaţială de circuite neuronale, şi invers; se efectuează o modelare a procesului de recunoaştere, utilizînd metoda funcţiilor de discriminare liniare.

Asemenea modele şi analogiile pe care se bazează duc la o mai bună înţelegere a funcţionării sistemului nervos.

Operaţiile efectuate de un sistem biologic pentru a comunica cu mediul înconjurător (recepţia şi codificarea semnalelor, transmisia spre centrii de prelucrare, prelucrarea informaţiei şi luarea unei decizii exteriorizată prin intermediul organelor de ieşire) se regăsesc şi în cadrul sistemelor tehnice care, pentru a comunica cu mediul (omul sau alte sisteme tehnice), utilizează mecanisme similare.

Pentru recepţionarea informaţiei, sistemele tehnice (de ex. cele de calcul) dispun de organe de intrare, sau codificatoare, care realizează trecerea de la limbajul uman la limbajul maşinii. Aceasta se face în mai multe etape, cu ajutorul compilatoarelor şi al programelor de interpretare. În final, problema formulată în limbaj uman la intrarea codificatorului (într-un alfabet alfanumeric de 26 litere, 10 cifre şi diverse semne de punctuaţie) se regăseşte la ieşirea acestuia, transcrisă în limbajul binar al maşinii. Introducerea informaţiilor în maşină, în cod binar, se face cu ajutorul cartelelor perforate şi a cititorului de cartele. Acesta transformă perforaţiile cartelei în impulsuri electrice ce se transmit maşinii. Un alt sistem care se poate folosi atît la introducerea cît şi la extragerea datelor, este banda magnetică. Pe ea se înregistrează succesiunea de impulsuri prin care s-a codificat binar informaţia şi pe care maşina o „citeşte“ astfel cu uşurinţă.

În cazul sistemelor tehnice de calcul, organele de ieşire cele mai răspîndite sînt imprimanta, terminalul cu afişare, banda perforată şi banda magnetică.

Imprimanta sau terminalul cu afişare prezintă rezultatul calculelor efectuate de maşină sub o formă citibilă direct de

Scanned with OKEN Scanner

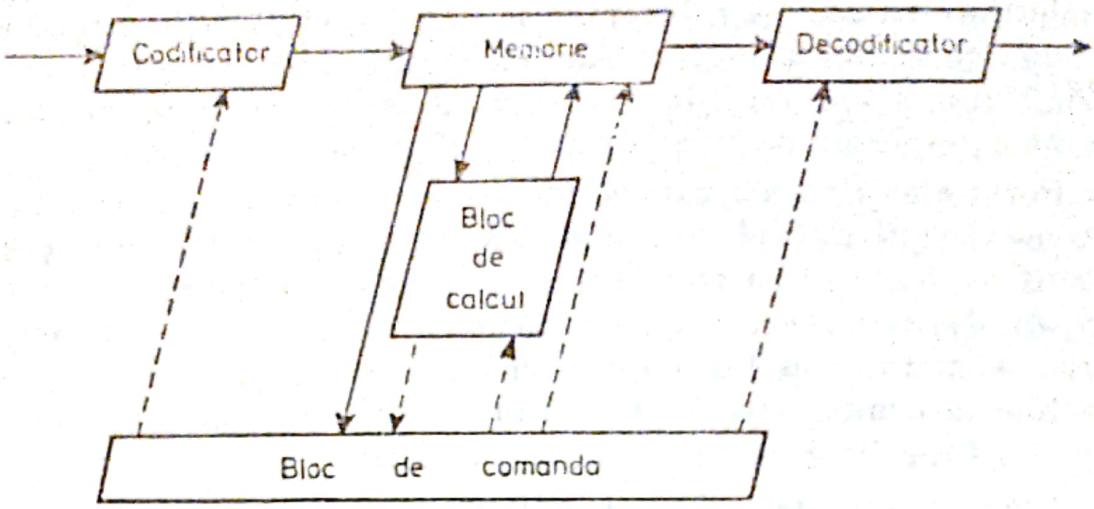


Fig. 2.3

către om, prima, tipărind textul pe hîrtie, cel de al doilea reprezentîndu-l pe un ecran luminos.

Toate dispozitivele de ieşire menţionate primesc la intrare semnale electrice, în general impulsuri, care reprezintă alfabetul maşinii. Decodificarea acestuia depinde de destinatarul pentru care lucrează maşina. Dacă acesta este omul, atunci alfabetul de ieşire este reprezentat de semnale vizuale: litere, cifre, grafice etc. Dacă destinatarul este tot un sistem tehnic, atunci alfabetul de ieşire trebuie să corespundă alfabetului de intrare al sistemului respectiv; atît banda magnetică cît şi cea perforată sînt adecvate ca dispozitive de intrare pentru un codificator de intrare.

Între organele de intrare şi cele de ieşire ale sistemului, informaţia este vehiculată, în codul propriu al maşinii, spre blocul de calcul. Acesta este conectat cu blocul de comandă ce controlează desfăşurarea operaţiilor şi cu blocul memoriei (fig. 2.3.).

Succesiunea operaţiilor efectuate de maşină este strict reglementată pe baza unui program elaborat de om şi înregistrat în memoria maşinii şi din care blocul de comandă extrage instrucţiunile adecvate fiecărei etape de calcul. Funcţionarea unei astfel de maşini este strict deterministă, atît programul cît şi structura ei fiind date de către constructor, şi nesuferind vreo schimbare pe parcursul funcţionării sale. Vom vedea că, pentru a dispune de oarecare autonomie, un sistem trebuie să poată transforma informaţia în organizare structurală.

Scanned with OKEN Scanner

2.2. Transformarea informației în organizare structurală

Funcționarea unui sistem este determinată de structura și de programul său. Programul sau algoritmul de funcționare reprezintă o cantitate de informație dată sistemului privind desfășurarea în timp a interacțiunii dintre elementele sale componente. După modul în care se obține această informație, există mai multe tipuri de sisteme.

În unele cazuri, informația este înscrisă în structura sistemului prin aranjarea, interconectarea și proprietățile însești ale elementelor componente; acestea sînt sistemele cu program fix și deci cu funcționare strict determinată. În această categorie intră sistemele tehnice create de om pentru a servi unui scop bine determinat (mașini-unelte clasice, mijloace de tracțiune etc.). Odată puse în funcțiune, ele își execută programul, totdeauna același, controlat de comenzile externe date de om. Cantitatea de informație de care dispune sistemul rămîne aceeași pe tot parcursul funcționării sale, fiind înscrisă în sistem din momentul inițial.

Pe măsura perfecționării sistemelor tehnice, se constată o separare din ce în ce mai accentuată a programului, de *structura funcțională* propriu-zisă. Programul sau informația asupra funcționării este conținut într-o structură specială, și anume, memoria sistemului. O primă consecință a acestei separări este că, în memorie, se pot înscrie mai multe programe, și nu unul singur, ceea ce diversifică posibilitățile de lucru ale sistemului. O a doua consecință este că, pentru a putea executa mai multe programe, structura funcțională nu mai poate să aibă un caracter rigid, fix, ci trebuie să prezinte anumite grade de libertate, în ceea ce privește interconectarea sau parametrii elementelor componente.

Trecerea de la mașinile cu progres fix la cele cu program variabil a însemnat un progres important. Comenzile asupra funcționării, care erau date numai de om, au început să treacă în sarcina mașinii. Evident, cel care scrie programul este tot omul, dar prin faptul că ea îl execută fără intervenția acestuia (ca în cazul mașinilor-unelte cu program, de exemplu) și că poate executa, cu aceleași elemente componente, o varietate de programe, constituie un avantaj important.

Dar, pe lîngă informația furnizată de om sub forma unui program, mașina mai poate dobîndi informație din mediul

Scanned with OKEN Scanner

înconjurător şi pe alte căi. Este cazul sistemelor de reglaj automat cu circuit închis, în care maşina primeşte în permanenţă informaţie asupra rezultatului funcţionării ei şi îşi modifică în consecinţă — şi în funcţie de prevederile programului — această funcţionare. „Rezultatul funcţionării" poate fi un obiect sau o stare fizică (de exemplu, o tablă laminată sau temperatura unui cuptor) etc. În toate cazurile, acesta constituie „mediul" asupra căruia se exercită funcţionarea maşinii. Dacă rezultatele nu sînt conforme cu cele dorite (de proiectant), maşina îşi poate modifica — în anumite limite — funcţionarea, pentru a satisface criteriul de optimalitate impus. Cu cît informaţia primită din mediu este mai mare, cu cît algoritmele de prelucrare a acestei informaţii sînt mai complexe, deci cu cît funcţionarea sistemului este mai variată, cu atît se accentuează caracterul *cibernetic* al sistemului. Aceasta înseamnă că el poate să se *autoconducă* într-o gamă variată de împrejurări, locul programului fiind preluat, într-o măsură din ce în ce mai mare, de către circuitele de prelucrare a informaţiei.

Posibilitatea sistemelor tehnice de a se autoorganiza reprezintă modelarea unor mecanisme similare, utilizate de sistemele biologice. Acestea sînt mecanismele adaptării — o autoorganizare la scara speciei — şi ale învăţării — o autoorganizare la nivel individual. În ambele cazuri au loc schimbări în structura şi funcţionarea sistemului, schimbări care se datoresc comunicaţiei cu mediul înconjurător şi care au drept scop *optimizarea funcţionării sale*. Acest scop, însă, nu este prescris de către un sistem exterior, ci s-a selectat în cursul evoluţiei, prin însuşi faptul că sistemele care nu l-au avut au pierit. Cu alte cuvinte, primele forme de viaţă au avut specific tocmai tendinţa de a-şi menţine şi optimiza funcţionarea, în contact cu acţiunea dezorganizatoare a mediului.

Sisteme autoorganizabile prin excelenţă, sistemele vii, se caracterizează printr-un permanent schimb de informaţie cu mediul. Dacă la nivel individual lucrul acesta este evident, la scara speciei interacţiunea informaţională are un mecanism mai complicat şi încă incomplet elucidat. Iată care este problema!

Schimbările structurale care se obţin în succesiunea generaţiilor, sînt îndreptate, în mod evident, spre realizarea unei concordanţe mai bune între caracteristicile speciei şi cele ale mediului. Ar trebui pentru aceasta ca sistemul să fie informat asupra caracteristicilor mediului pentru a-şi putea comanda

Scanned with OKEN Scanner

în mod adecvat variațiile necesare. Dar sistemul nostru — specia — nu există decît prin reprezentanții ei individuali, singurii care pot culege informații din mediu. Pentru ca aceste informații să poată servi speciei ar trebui ca ele să fie transmisibile urmașilor. Cercetările de pînă acum asupra transmisiei informației genetice nu lasă însă loc acestei ipoteze, de altfel mult discutată. Rămîne atunci mecanismul variațiilor întîmplătoare triate de mediu, mecanism prin care mediul își pune amprenta asupra caracteristicilor sistemului, nu atît prin generarea unor comenzi pozitive, ci prin anularea celor negative. Este ciudată, totuși, apariția „întîmplătoare" a unor *comenzi pozitive* care apar din cînd în cînd, într-o anumită generație, dînd la iveală un caracter — structural sau comportamental — atît de admirabil adaptat necesităților vitale ale organismului.

S-ar părea că și la scara speciei există un mecanism de transmisie a informației de la mediu la sistem, prin care acesta să poată comanda variațiile utile. Acest mecanism — dacă există — este însă cu desăvîrșire necunoscut. Manifestarea sa este de altminteri îngreunată de necesitatea păstrării caracteristicilor speciei de-a lungul generațiilor, fără ca acestea să fie alterate de schimbările trecătoare, neesențiale ale mediului. Astfel, încît, pentru a fi operantă, acțiunea *informatoare* a mediului trebuie să persiste în timpul a cîtorva sute (sau mii) de generații, cărora să le imprime aceeași modificare. Fidelitatea transmisiei ereditare este impresionantă dacă ne gîndim la mulțimea caracterelor moștenite, iar posibilitatea unei variații apare mai degrabă ca un accident — nociv —, o *eroare de transmisie*, și nu comandă utilă.

Pe de altă parte, se știe că în cursul evoluției, informația ereditară a crescut cu mai multe ordine de mărime (de la gena arhaică s-a ajuns la cele 10^5 gene diferite ale omului). Această îmbogățire a programelor genetice, concomitent cu păstrarea achizițiilor utile, este un proces de transformare a informației în organizare structurală încă departe de a fi elucidat.

Problema structurării organismelor — și inclusiv a genomului — de la simplu la complex, în succesiunea generațiilor, în conformitate cu caracteristicile mediului, este, în continuare, o problemă deschisă.

Mult mai evidentă este transformarea informației în organizare structurală în cadrul interacțiunii dintre individ și mediu.

Scanned with OKEN Scanner

Principala structură autoorganizabilă a fiinţelor vii este sistemul nervos. Ansamblul celulelor nervoase interconectate formează o reţea de transmisie şi prelucrare a informaţiei; unele circuite sînt date (moştenite), iar altele se structurează în cursul vieţii individului, prin *învăţare*. Comportamentul învăţat apare atunci cînd, datorită unor factori externi noi, neprevăzuţi, programele înregistrate se dovedesc insuficiente pentru a asigura organismului condiţiile de funcţionare; prin învăţare se structurează noi configuraţii neuronale, care devin stabile prin repetarea în timp a acţiunilor cu rezultate pozitive. Tocmai această plasticitate a sistemului nervos condiţionează posibilitatea de învăţare.

În cadrul procesului de învăţare, circulaţia informaţiei între organism şi mediu are un dublu sens: pe de o parte, organismul *informează* mediul prin efectuarea unei acţiuni, pe de altă parte, mediul *informează* organismul asupra rezultatului acestei acţiuni. Se observă deci că ansamblul organism-mediu formează un sistem cu circuit închis sau cu retroacţiune. Informaţia asupra rezultatului acţiunii este prelucrată de către organism, care stabileşte astfel dacă acţiunea efectuată a fost sau nu utilă. În caz afirmativ, această acţiune va fi repetată, ceea ce va întări configuraţiile neuronale ce o declanşează. În caz contrar, acţiunea respectivă va fi evitată, ceea ce va duce la slăbirea circuitelor neuronale aferente.

Totalitatea informaţiilor culese din mediu şi care se dovedesc utile pentru individ se înscriu, deci, codificat, în structura sa nervoasă care, pe lîngă proprietatea de plasticitate, o mai posedă şi pe aceea de memorizare. Modificările imprimate acestei structuri devin din ce în ce mai stabile şi, cu timpul, pot deveni chiar permanente. Modificările structurii nervoase apar fie prin repetarea — automată — a unei anumite funcţionări care aduce avantaj individului, fie (la om) în mod conştient, prin efortul volitiv de a învăţa. Învăţarea conceptuală reprezintă forma superioară de transformare a informaţiei în organizare structurală; prin repetare, o anumită operaţie logică care s-a dovedit utilă se înscrie ca program de lucru în memoria individului, structurînd nu numai configuraţia neuronală care o reprezintă, ci şi adresa care permite regăsirea şi utilizarea sa în viitor.

Posibilitatea formării prin învăţare a unor „patterne" neuronale, reprezintă un exemplu concludent de transformare a informaţiei în organizare structurală.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 3

ADAPTAREA

În acest capitol, mecanismul adaptării este exemplificat printr-o diversitate de sisteme biologice şi tehnice, mergînd de la cele mai simple — celula, automatele celulare — pînă la sistemele de ordin superior — specii, programe evolutive.

Soluţiile prin care se realizează adaptarea biologică variază în funcţie de nivelul sistemic şi de modul său de organizare. În cele ce urmează, vom considera ca *adaptiv* orice proces prin care organismul îşi optimizează funcţionarea în raport cu mediul, indiferent de nivelul sistemic la care se realizează. Aceasta deoarece sistemele *adaptive* tehnice au preluat în mod nediscriminativ aceste mecanisme, înglobîndu-le într-un tot unitar.

Modelarea tehnică a adaptării a implicat variante conceptuale şi practice, adecvate noilor structuri. În toate cazurile însă, modificările adaptive care survin în organizarea structurală a sistemului urmăresc optimizarea funcţionării sale în vederea satisfacerii unui criteriu de performanţă. În acest scop, sistemul primeşte informaţie asupra acestui criteriu şi încearcă diferite variante funcţionale pentru a o alege pe cea mai bună. Încercările se pot face pe baza unui algoritm sau în mod euristic. Creşterea posibilităţilor de recepţie şi prelucrare a informaţiei au dus la o creştere a eficienţei mecanismului de adaptare.

3.1. Adaptarea la nivelul celulei

3.1.1. *Legătura dintre celulă şi mediu*

Celula constituie cea mai mică unitate funcţională ce poate pune în evidenţă proprietăţile caracteristice sistemelor vii:

Scanned with OKEN Scanner

autoîntreţinerea, creşterea, înmulţirea, excitabilitatea, adaptarea[1,2].

Există o diversitate de celule, după cum ele aparţin regnului vegetal sau celui animal, după structura internă (cu nucleu—eucariote—sau fără nucleu înconjurat de membrană-procariote), după mărime (submicroscopice, sau vizibile cu ochiul liber), după cum sînt constituente ale unor organisme monocelulare sau pluricelulare (în organismele pluricelulare, celulele se diferenţiază pe funcţiuni specifice).

Iată cum arată structura unei celule eucariote (cu nucleu şi membrană nucleară) aparţinînd regnului animal, aşa cum a fost pusă în evidenţă cu ajutorul microscopului electronic. Celula este formată din membrană, citoplasmă şi nucleu (fig. 3.1). Membrana delimitează celula faţă de mediul exterior şi controlează schimbul de substanţe dintre celulă şi mediu, în cadrul celor două procese fundamentale de întreţinere: asimilaţia şi dezasimilaţia. Masa protoplasmatică celulară

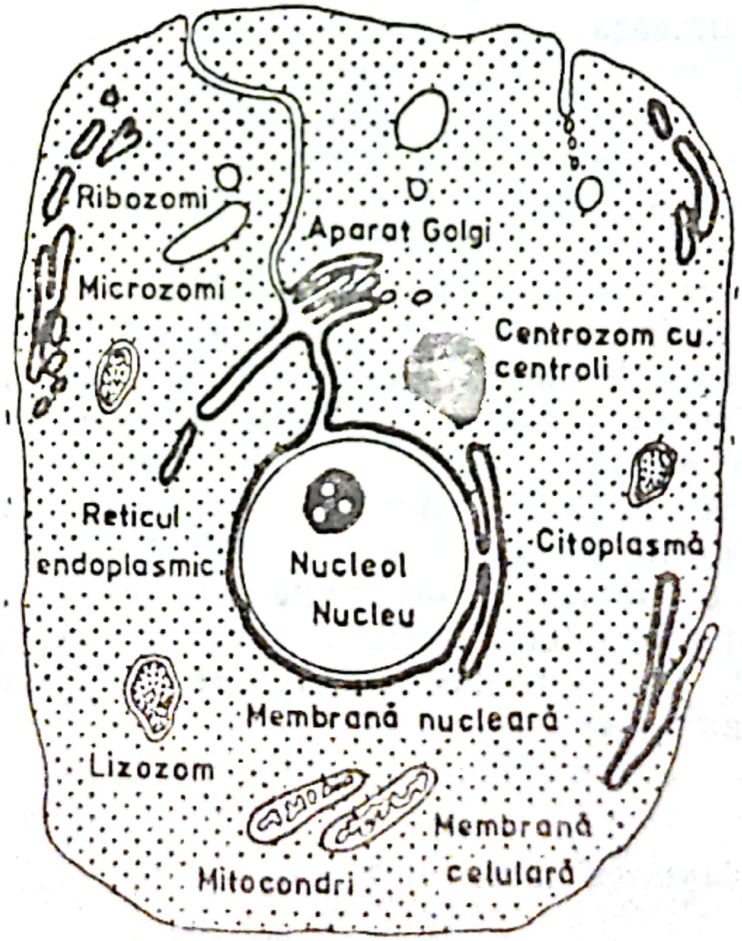


Fig. 3.1

[1] I. Cotăescu, *Materie vie*, Ed. ştiinţifică, Bucureşti, 1968.
[2] P. Raicu ş.a., *Celula*, Ed. Academiei R.S.R., Bucureşti, 1972.

Scanned with OKEN Scanner

sau citoplasma este mediul intern al celulei, în care au loc majoritatea proceselor metabolice. Protoplasma este un sistem coloidal complex, ce cuprinde diferite structuri delimitate de propriile lor membrane (organite), precum şi o reţea de canale delimitate de membrane intraprotoplasmatice (reticulul endoplasmatic). Aceste canale ajung pînă la suprafaţa celulei, făcînd astfel legătura dintre plasma endocelulară şi plasma intercelulară şi mărind suprafaţa prin care se fac schimburile dintre celulă şi lichidul extracelular. Membranele canalelor sînt acoperite cu ribozomi, structuri complexe, necesare în sinteza proteinelor.

Nucleul se compune din protoplasmă diferenţiată, delimitată de o membrană cu pereţi dubli, prevăzută cu pori pentru a permite trecerea substanţelor în ambele direcţii. În nucleu se găsesc dispersate fibre subţiri de „cromatină" care, în momentul diviziunii celulare condensează sub forma unor structuri mari, vizibile la microscop, numite cromozomi. Aceştia conţin moleculele de acid dezoxiribonucleic (ADN), sediul informaţiei ereditare.

Autoîntreţinerea celulei vii are loc pe baza a două procese contradictorii, şi anume *dezasimilaţia* şi *asimilaţia* care împreună reprezintă *metabolismul celular*.

În procesul *dezasimilaţiei* se oxidează moleculele organice din celulă şi prin aceasta se eliberează o cantitate de energie ce va fi folosită în asimilaţie. În ceea ce priveşte schimburile cu exteriorul, celula ia din exterior oxigenul necesar arderii şi elimină reziduurile arderii: bioxid de carbon, apă, molecule organice (de ex. ureea) etc.

În procesul *asimilaţiei* în celulă are loc sinteza de proteine-enzime, sinteză prin care se refac moleculele organice ce formează structurile celulare. Sinteza se exercită atît asupra unor molecule organice primite din exterior şi integrate, cît şi asupra unor molecule cu număr mic de atomi de carbon, ce provin din degradarea oxidativă a dezasimilaţiei.

Se observă deci că cele două procese complementare de asimilaţie şi dezasimilaţie se întreţin, se condiţionează reciproc, unul neputînd exista în absenţa celuilalt. Necesitatea aportului exogen de molecule organice apare, pe de o parte, datorită randamentului subunitar al proceselor de asimilaţie-dezasimilaţie (pentru sinteza a două molecule de glucoză, de exemplu, se foloseşte energia rezultată prin arderea a trei molecule de glucoză), cît şi pentru acoperirea nevoilor de creştere a celulei.

Scanned with OKEN Scanner

Din considerentele de mai sus rezultă caracterul de *sistem deschis* al celulei, care, pentru a se întreţine, face un permanent schimb de substanţe cu exteriorul. Celula este prima treaptă de organizare a materiei care, prin mecanismele menţionate, se opune degradării ireversibile, proprie materiei inerte.

Posibilitatea de a contracara — temporar — cel de al doilea principiu al termodinamicii, prin reînnoirea neîncetată a structurilor degradate, conferă celulei caracterul de *viu*.

Calitatea morfofuncţională a celulei depinde de raportul cantitativ dintre asimilaţie şi dezasimilaţie, de vitezele relative ale celor două procese, de posibilităţile de aport exogen pe care le oferă mediul.

La o celulă tînără asimilaţia predomină asupra dezasimilaţiei; aceasta se manifestă prin creştere şi multiplicare. Pe măsura îmbătrînirii, schimburile cu exteriorul se atenuează, metabolismul se reduce. O celulă poate muri, fie prin insuficienţa aportului exogen, fie prin alterarea mecanismelor metabolice.

În organismele multicelulare, celulele se diferenţiază, cu atît mai mult cu cît organismul este mai evoluat. În celulele diferenţiate, energia rezultată prin dezasimilaţie nu este folosită numai pentru sinteza de întreţinere, ci o parte serveşte la o sinteză diferenţiată. În această categorie intră celulele glandulare exo şi endocrine, celulele musculare, celulele nervoase, precum şi celulele specializate ale sistemelor senzoriale. În aceste tipuri de celule, energia dezasimilaţiei este folosită respectiv pentru secreţia de substanţe, pentru contracţie, pentru generarea influxului nervos.

Din cele de mai sus rezultă că celula *trăieşte* în strînsă legătură cu mediul înconjurător din care preia substanţe cu un anumit grad de organizare şi în care elimină produse degradate. Funcţionarea *antientropică* a celulei vii, adică lupta împotriva creşterii propriei entropii (împotriva dezorganizării) se obţine pe baza creşterii entropiei mediului înconjurător.

Dar mediul nu este doar un rezervor pasiv de substanţe; el exercită o influenţă activă asupra însuşi automatismului celular.

Proprietatea sistemelor vii de a reacţiona la acţiunea unor agenţi exteriori poartă numele de *excitabilitate*. În cazul celulei, ea determină modificări ale stării fizico-chimice din membrană şi protoplasmă, exprimată prin manifestări electrice, metabolice, fizice, mecanice.

Scanned with OKEN Scanner

Excitabilitatea este o însuşire caracteristică a viului. Ea derivă din proprietatea generală de *reflectare* a materiei despre care s-a mai vorbit în capitolul II. Dar, dacă în lumea inertului reflectarea este neorientată, nefavorizînd vreo structură anumită în dauna alteia, în lumea viului reacţia capătă un caracter *adecvat*, adică orientat spre menţinerea integralităţii structurii vii.

„Adecvarea reprezintă răspunsul, cu valoare imediată, faţă de acţiunea de moment a unui factor oarecare. Ea duce la menţinerea integralităţii structurale şi funcţionale a sistemului, în condiţiile variabile ale mediului"[1].

Lucrul acesta este cu atît mai evident cu cît fiinţa vie este mai evoluată; cu alte cuvinte, capacitatea de a reflecta adecvat este una din componentele evoluţiei.

În regnul animal, excitabilitatea ia forme noi. Astfel, protozoarele pun în evidenţă mecanismul *chimiotropismului pozitiv* din care s-a dezvoltat, prin evoluţie, activitatea locomotorie complexă a metazoarelor.

Astfel, la amibă — o celulă cu activitate fiziologică nediferenţiată dar completă — enzimele fosforilante (cu rol în oxidaţia catabolică) sînt, în acelaşi timp, şi contractile. Dacă o substanţă chimică din mediu activează enzimele contractile, amiba se îndreaptă spre zona de concentraţie maximă (chimiotropism pozitiv). Dacă substanţa este inhibantă pentru enzimele contractile, devine mai activă partea opusă a celulei şi amiba se îndepărtează (chimiotropism negativ). Prin acest mecanism amiba realizează un salt calitativ considerabil în reflectarea adecvată a mediului înconjurător, cu consecinţe importante pentru supremaţia regnului animal asupra celui vegetal. Mecanismul supravieţuirii s-a îmbogăţit cu o componentă de mare eficacitate: căutarea activă a hranei.

În fig. 3.2 această componentă este reprezentată prin existenţa unui receptor care primeşte informaţie asupra zone-

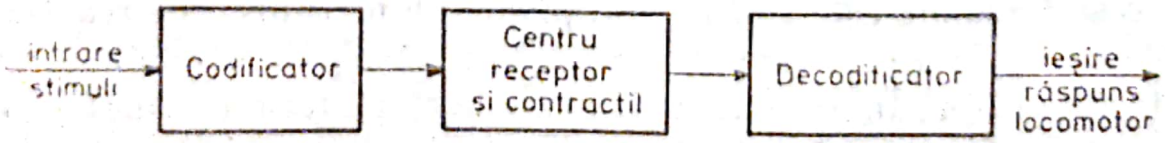


Fig. 3.2

[1] N. Botnariuc, *Unele aspecte teoretice ale problemei integralităţii în biologie*, în *Analele Universităţii Bucureşti*, seria biologie, an. XIII, p. 35–44.

lor de concentraţie nutritivă maximă şi comandă orientarea celulei. După cum se observă, centrul receptor este comun cu cel contractil, datorită activităţii nediferenţiate a celulei.

3.1.2. *Mecanismele de reglaj ale celulei*

În cursul evoluţiei, interacţiunea dintre sistemul viu şi mediu a devenit din ce în ce mai complexă. De la simpla excitabilitate sau posibilitate de a reacţiona adecvat la un stimul, s-a ajuns la modificarea reacţiilor biochimice din interiorul celulei în funcţie de condiţiile externe, mai exact în funcţie de informaţia pe care celula o detectează.

Prin acest mecanism de reglaj, celula este prima unitate morfofuncţională biologică care pune în evidenţă proprietatea de adaptare. Aceasta asigură o stare homeostatică, de maximă eficacitate metabolismului celular.

Un exemplu în acest sens îl constituie dependenţa faţă de temperatură: la 30°C, viteza metabolismului unei celule vegetale este dublă faţă de cea de la 20°C, scăzînd treptat la temperaturi mai mici; la 0° metabolismul încetează complet. O asemenea dependenţă se observă şi în regnul animal: amiba este mai activă la 20°C decît la 10°C.

Un alt exemplu de adaptare a celulei la mediu îl constituie mecanismul de reglare a sintezei proteinelor în funcţie de proprietăţile nutritive ale mediului. Experienţele s-au efectuat asupra bacteriei monocelulare Escherichia coli (prescurtat E. coli) de către biochimiştii francezi Fr. Jacob şi J. Monod.

E. coli se hrăneşte în special cu glucoză. În absenţa acesteia, şi în prezenţa zaharurilor de tip lactoză (galactozide), bacteria produce o enzimă numită beta-galactozidază, care are proprietatea de a transforma lactoza în glucoză. Sinteza acestei enzime este controlată, printr-un mecanism de reacţie, de informaţia privind substanţele nutritive prezente în mediul înconjurător. În absenţa galactozidelor, sinteza enzimei este neglijabilă (o moleculă în patru-cinci generaţii de bacterii); la cîteva minute după detectarea prezenţei galactozidei, bacteria sintetizează cîteva mii de molecule din ezima necesară. Dacă *agentul inductor* (galactozida) este retras, ritmul sintezei scade la valoarea iniţială, în cîteva minute.

Scanned with OKEN Scanner

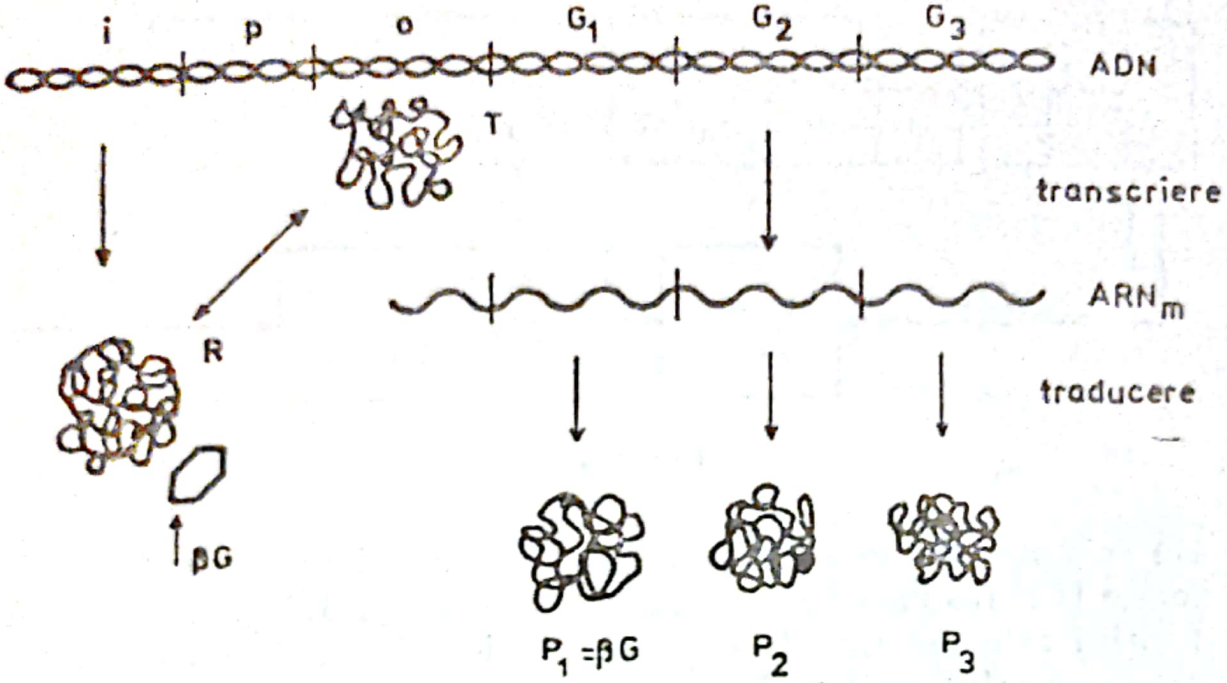


Fig. 3.3

Reproducem modelul numit *operon*, prin care s-a explicat acest proces[1] (fig. 3.3).

Sistemul regulator cuprinde: gena regulatoare (*i*), proteina represoare (*R*) asociată cu galactozida inductoare (β*G*), segmentul operator (*o*) din ADN, segmentul promotor (*p*) din ADN, proteina represoare (*T*) asociată cu segmentul operator (*o*), gene de structură ($G_1G_2G_3$) care determină sinteza celor trei proteine ($P_1P_2P_3$) din care una este beta galactozidaza.

Sinteza ARN-ului mesager (care determină formarea proteinelor $P_1P_2P_3$) se face la nivelul promotorului. Atunci cînd mediul nu conţine galactozide, proteina represoare se asociază cu segmentul operator şi blochează sinteza mesagerului, inactivînd transcrierea secvenţelor polipeptidice şi deci formarea enzimelor *P*. Dimpotrivă, atunci cînd mediul conţine galactozide, represorul se asociază cu beta-galactozidaza, disociindu-se de operator, ceea ce permite sinteza mesagerului şi deci a enzimelor. În esenţă, agentul inductor (beta-galactozidaza) inactivează represorul şi permite producerea enzimelor. Aşa cum remarcă Monod, prin această dublă negaţie (inactivarea represorului) rezultă un efect pozitiv (producerea enzimelor); logica sistemelor biologice (ca şi a calculatoarelor) ascultă de algebra lui Boole. Sistemele regulatoare de acest

[1] Jacques Monod, François Jacob, *Journal of Molecular Biology*, 3, 318, 1961.

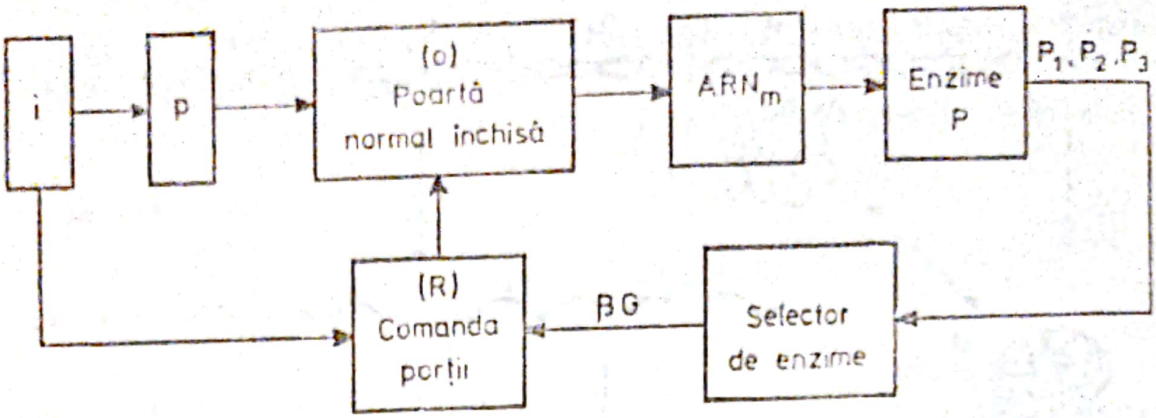


Fig. 3.4

tip se numesc *inductoare*. Schema de funcţionare din fig. 3.3 poate fi transpusă în schema logică din fig. 3.4. Rolul operatorului este deţinut de o poartă logică, blocată sau deschisă prin semnalul sosit de la un circuit de comandă (represorul *R*). Cînd semnalul (βG) de la ieşirea sistemului, selectat de selector, acţionează circuitul de comandă, acesta dă semnal de deschidere a porţii. Enzimele promotoare pot sintetiza ARN-ul mesager care determină sinteza proteinelor de tip *P*, dintre care cea selectată (βG) va întări procesul. Absenţa acestei enzime determină un semnal de comandă de închidere a porţii şi deci de oprire a procesului, prin blocarea mesagerului. În schema de mai sus poarta este normal închisă iar prezenţa enzimelor *P* determină deschiderea sa pentru a mări producţia de enzime. Circuitul de reacţie are rol de reacţie pozitivă, care întăreşte variaţiile iniţiale.

În afară de sistemul *inductor* descris mai sus, modelul operon mai cuprinde şi sistemul *represor*. În acest sistem, represorul natural este inactiv, iar prezenţa *co-represorilor* din mediul înconjurător îl activează şi determină oprirea sintezei enzimelor.

După cum se vede, sistemul represor are un efect contrar celui inductor, adică împiedică sinteza unor enzime, în cazul în care ele se găsesc în cantitate suficientă în mediul înconjurător. Mecanismul sistemului represor se poate urmări pe schema logică din fig. 3.5. Aci poarta este normal deschisă, iar prezenţa enzimei în mediul înconjurător face ca circuitul de comandă să dea semnal de închidere a porţii şi de oprire a sintezei. Reacţia este negativă de data aceasta, opunîndu-se variaţiei iniţiale.

Un alt mecanism de reglaj care asigură adaptarea funcţionării celulei la mediu este acela al *inhibiţiei alosterice*. El de-

Scanned with OKEN Scanner

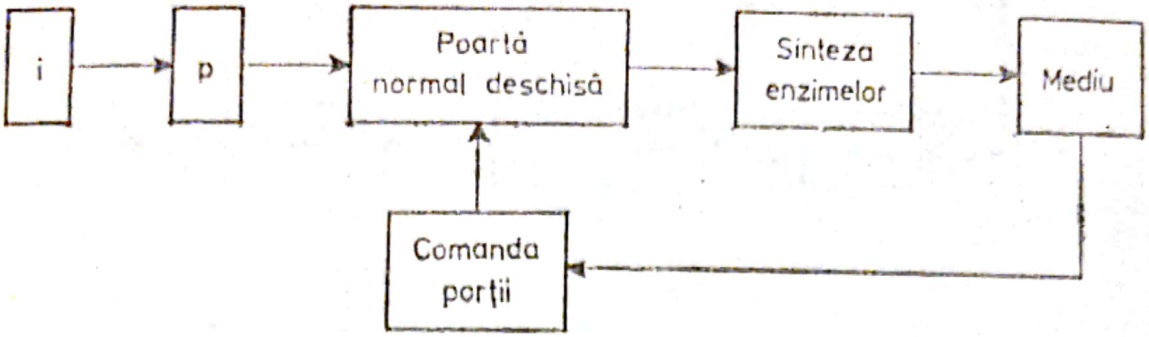


Fig. 3.5

termină creșterea sau reducerea producției unei anumite enzime în funcție de disponibilitățile mediului și de necesitățile celulei. În fig. 3.6[1] se observă că o parte din produsul final (*F*) al unui șir de reacții este adus prin calea de reacție negativă în punctul de producere a unei enzime anterioare, de exemplu (*ab*). Produsul final se combină cu enzima (*ab*) schimbîndu-i forma și făcînd-o mai puțin activă pentru producerea enzimelor ulterioare. Cu cît produsul final este mai numeros, cu atît prin calea de reacție negativă el va dezactiva mai multe enzime de tip (*ab*) — intermediare — determinînd reducerea produsului final. Este un mecanism similar cu cel al controlului automat al volumului în aparatele de radiorecepție (fig. 3.7) în care o purtătoare puternică determină, prin reacție, micșorarea amplificării etajelor precedente.

Sistemul funcționează ca și cel represor prin *reducerea* cantității unei anumite enzime, în prezența unei anumite substanțe exterioare. Dar, spre deosebire de sistemul represor care controlează însăși sinteza enzimei, inhibiția alosterică controlează funcționarea ei, determinînd-o să fie mai mult sau mai puțin activă. Din acest punct de vedere, sistemul represor este

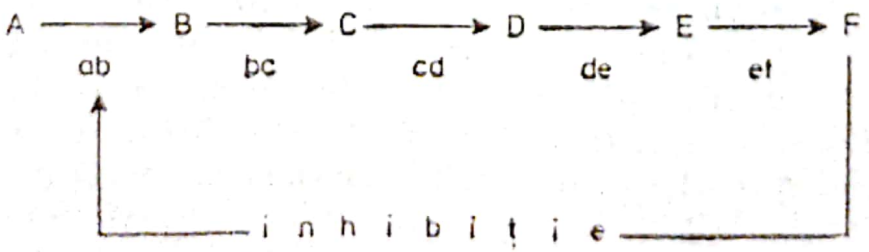


Fig. 3.6

[1] J. R. Sampson, *Adaptive Information Processing*, Springer Verlag, 1976.

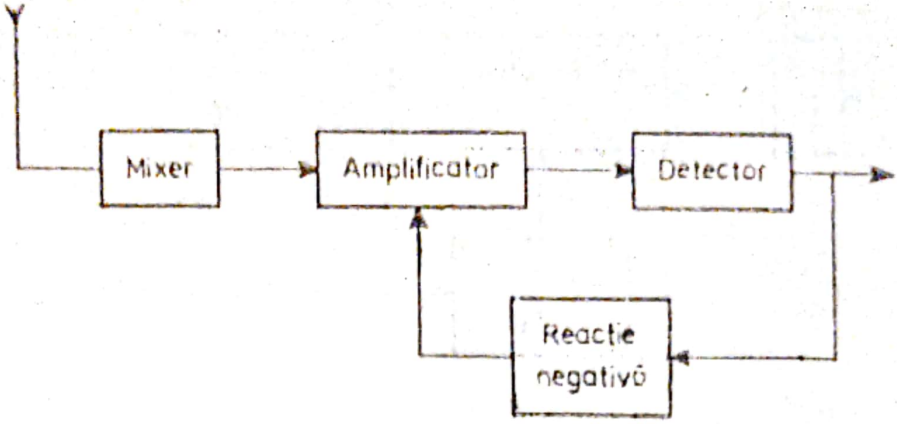


Fig. 3.7

mai economic, deoarece în funcție de cerințele mediului înconjurător, producerea enzimei specifice poate avea loc sau nu, sau altfel spus, gena poate fi activată sau represată. Dar, pe de altă parte, inhibiția alosterică se petrece la nivelul enzimei, reprezentînd astfel o cale mai directă și mai rapidă de reglare a activității metabolice, ca răspuns la schimbările mediului.

Evoluția a mers însă nu numai în sensul perfecționării mecanismelor adaptive ale celulei, ci și înspre diferențierea tipurilor de celule existente, pentru a putea îndeplini o varietate cît mai mare de funcțiuni.

3.1.3. *Celula nervoasă*

Activitatea celulară diferențiată a metazoarelor a dus la crearea unor celule destinate special recepției și prelucrării informației sosite din mediu și transmiterii comenzilor la centrii efectori (glandulari, locomotorii etc.) ai animalului. S-a format astfel sistemul nervos, a cărui unitate funcțională, celula nervoasă, este reprezentată în fig. 3.8 sub o formă tipică[1,2]. Se deosebesc terminațiile *dendritice* (care joacă rol de receptoare de informație), corpul celulei sau *soma* (care integrează informațiile primite, efectuînd o sumație spațială și temporală) și *axonul* (care reprezintă canalul de transmisie a informației spre alți neuroni). Transmisia informației de la un neuron la celălalt se face pe cale chimică, prin intermediul sinapselor (fig. 3.9). La sosirea semnalului, veziculele sinap-

[1] J. Eccles, *The Understanding of the Brain*, Mc Graw Hill, 1973.
[2] A. Kreindler și Vlad Voiculescu, *Anatomia — fiziologia clinică a sistemului nervos central*, Ed. Academiei R.P.R., 1957.

Scanned with OKEN Scanner

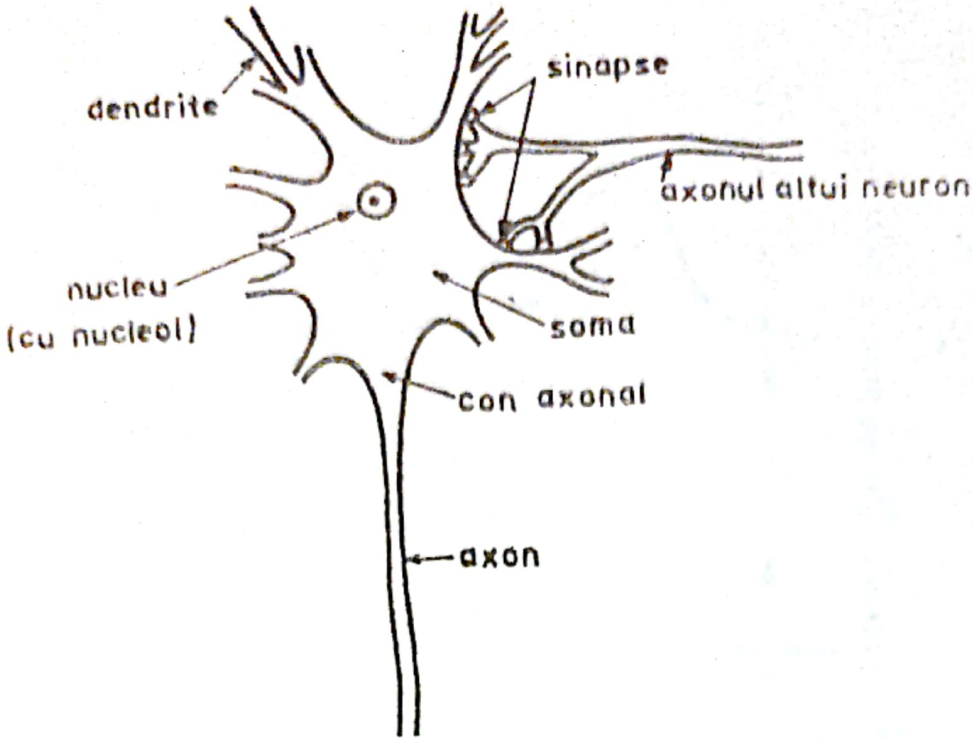


Fig. 3.8

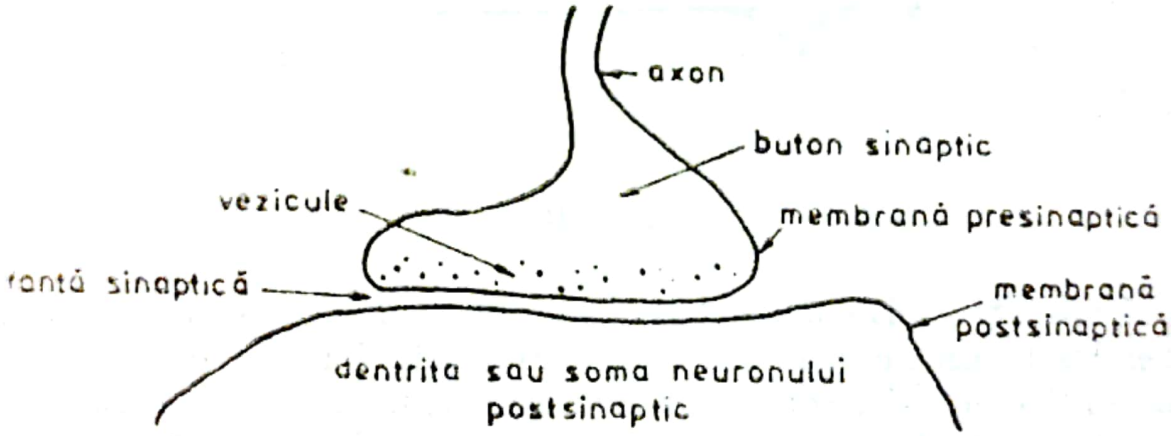


Fig. 3.9

tice eliberează o substanță care difuzează prin membrana presinaptică, traversează interstițiul (de ordinul 10^{-8}m) și ajunge la membrana postsinaptică a neuronului următor. În funcție de tipul sinapsei (excitatoare sau inhibitoare), pe membrana postsinaptică iau naștere variații de potențial diferite ca semn, a căror mărime variază de la cîțiva milivolți la cîțiva zeci de milivolți, în funcție de intensitatea excitantului (fig. 3.10, *a* — potențial postsinaptic excitator și *b* — potențial postsinaptic inhibitor). Potențialele postsinaptice provenind de la cele cîteva sute sau mii de sinapse sînt însumate algebric (ținînd seama de semn) la nivelul membra-

Scanned with OKEN Scanner

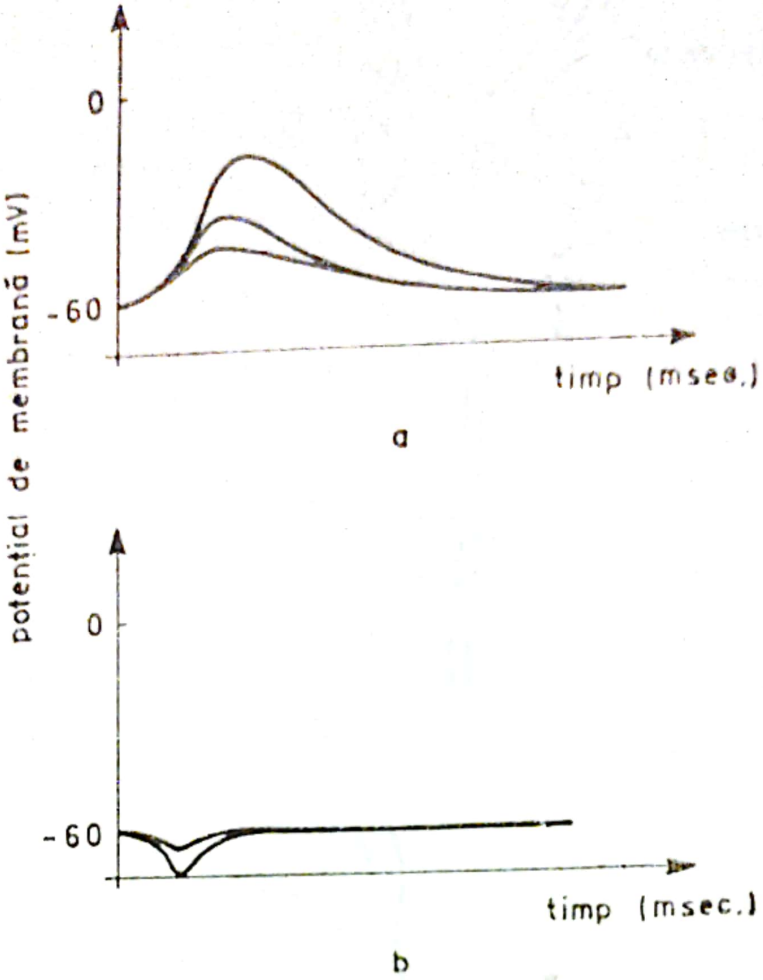


Fig. 3.10

nei somatice. Dacă efectul însumării (spaţiale şi temporale) depăşeşte un anumit *prag* (10—20 milivolţi), se produce, la nivelul conului axonal, „detonarea" neuronului şi un semnal electric este trimis pe axon, numit *potenţial de acţiune* (fig. 3.11). Acesta are o amplitudine constantă (100—120 mV) şi se propagă în lungul axonului cu o viteză de cîţiva metri pe secundă. Frecvenţa impulsurilor axonale depinde de intensitatea excitantului (100—1 000 imp/sec.). Codificarea intensităţii se face deci în amplitudine la nivelul membranei postsinaptice şi în frecvenţă pe canalul de transmisie.

Modulaţia de frecvenţă utilizată pentru transmiterea informaţiei pe fibrele neuronale este larg utilizată şi în sistemele tehnice de comunicaţie, datorită calităţilor ei. În sistemul nervos ea apare ca o consecinţă a fenomenului de variaţie a pragului (*P*) de detonare a neuronului în timpul perioadelor absolute şi refractare (fig. 3.12). Pe durata perioadei refractare absolute (*PRA*) pragul are o valoare foarte ridicată şi neuro-

Scanned with OKEN Scanner

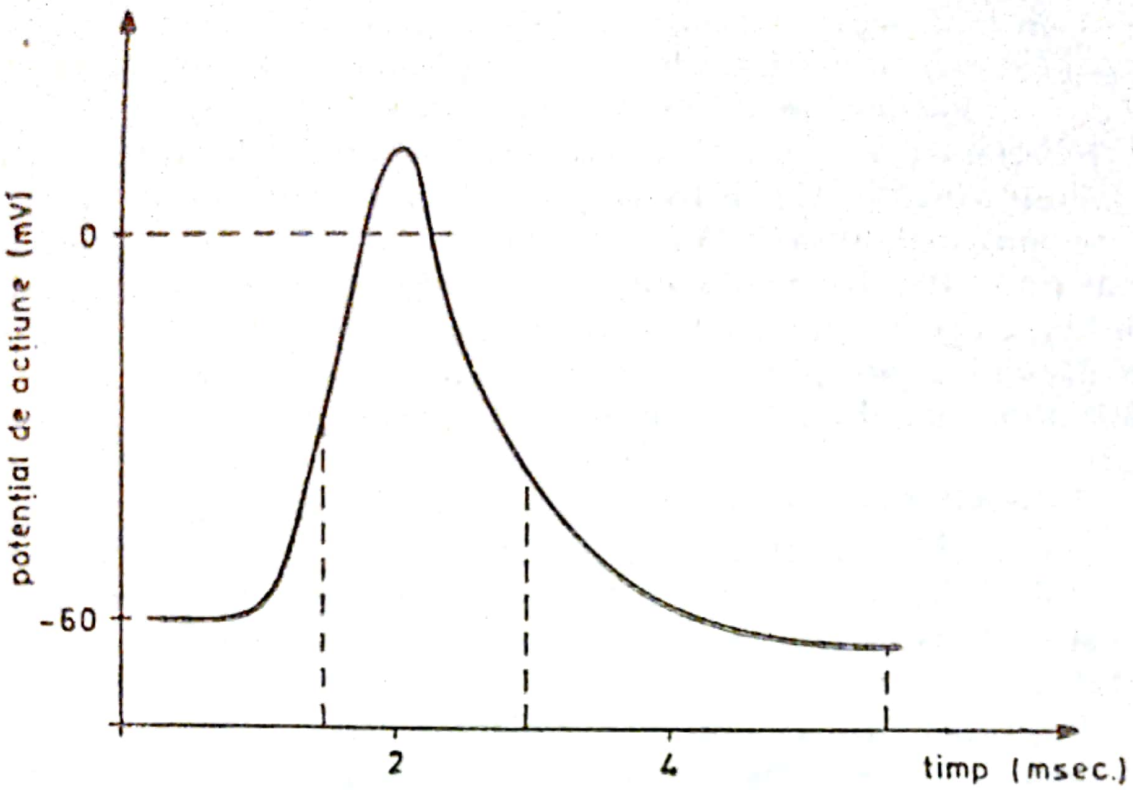


Fig. 3.11

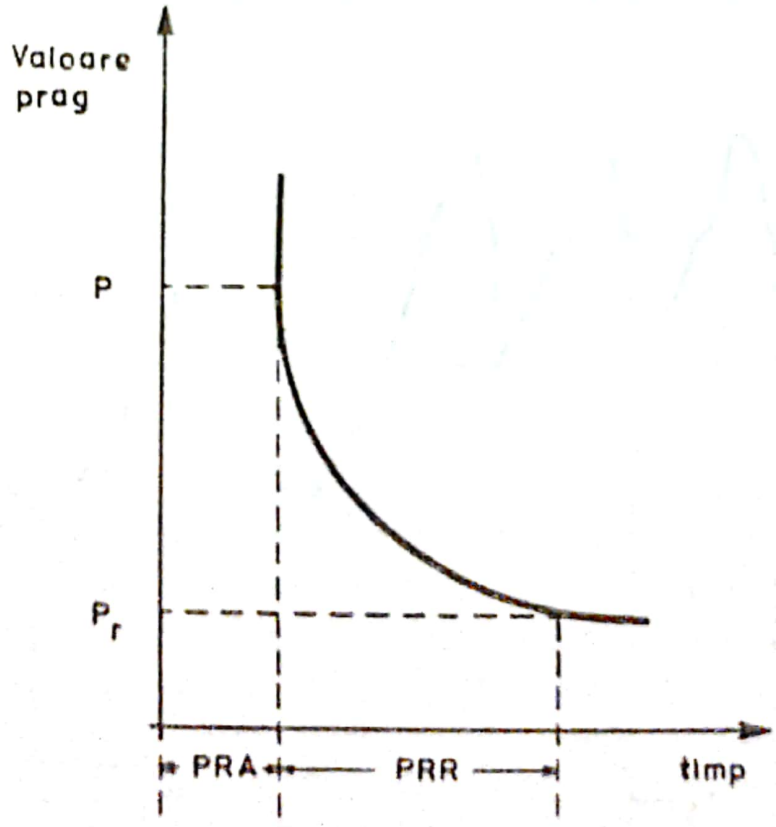


Fig. 3.12

Scanned with OKEN Scanner

nul nu mai poate detona; pe durata perioadei refractare relative (*PRR*), pragul scade treptat, pînă la valoarea de repaos P_r, iar neuronul poate detona la un nivel ce depinde de nivelul depolarizării conului axonal, respectiv de intensitatea excitantului. În fig. 3.13 se poate urmări cum la o depolarizare mai pronunțată ($V_1 > V_2$) corespunzătoare unui excitant mai puternic, frecvența impulsurilor generate de neuron crește ($T_1 < T_2$). Ea nu poate depăși valoarea $f_0 = 1\,000$ impulsuri pe secundă, corespunzătoare unei depolarizări V_0 ce determină detonarea imediat după terminarea perioadei refractare absolute.

Intensitatea excitantului este codată deci prin modularea în frecvență a impulsurilor generate, după o lege de tip logaritmic: $f = k \log I$, în care f este frecvența impulsurilor axonale, I este intensitatea stimulului și k o constantă de proporționalitate.

O proprietate interesantă a celulei nervoase este aceea de *adaptare*. Aceasta înseamnă că, la aplicarea unui stimul constant ($I = \text{ct}$), frecvența impulsurilor generate scade după o lege exponențială, reprezentată în fig. 3.14: $f = (1 - e^{-t/\tau}) k \log I + f'$ în care t reprezintă timpul și τ constanta de timp a procesului de adaptare. Această proprietate a apărut, probabil, din necesitatea de a face organismul sensibil în special la

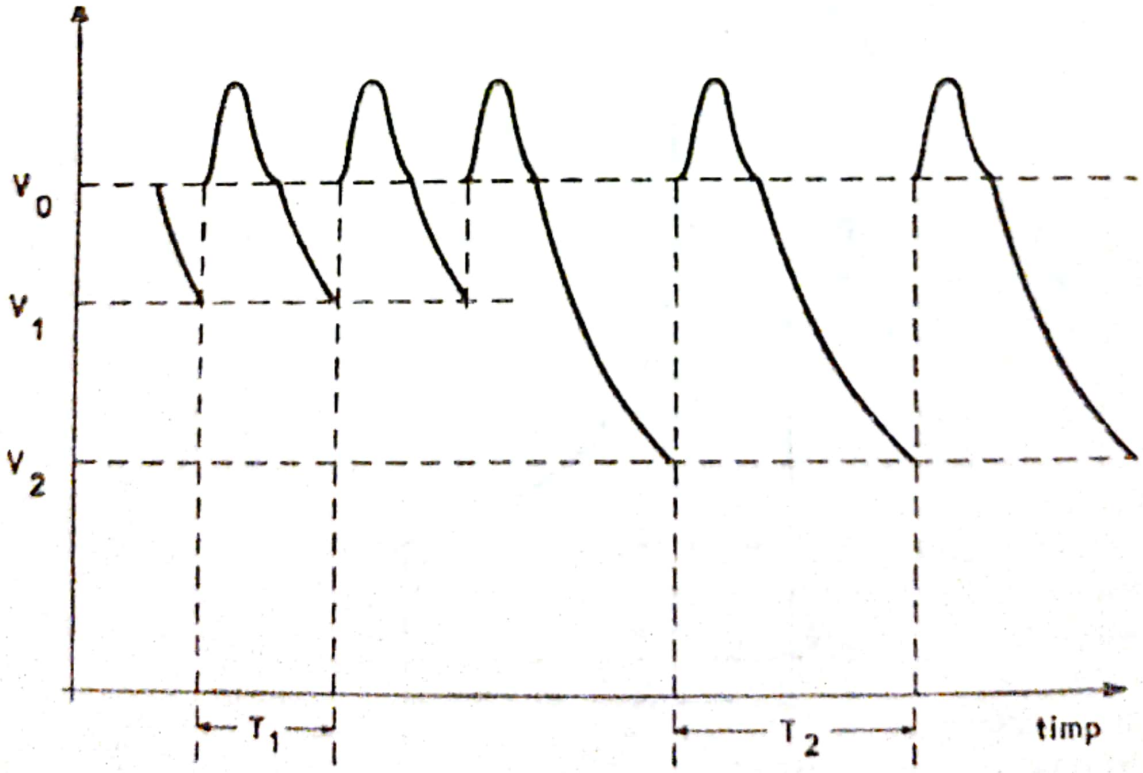


Fig. 3.13

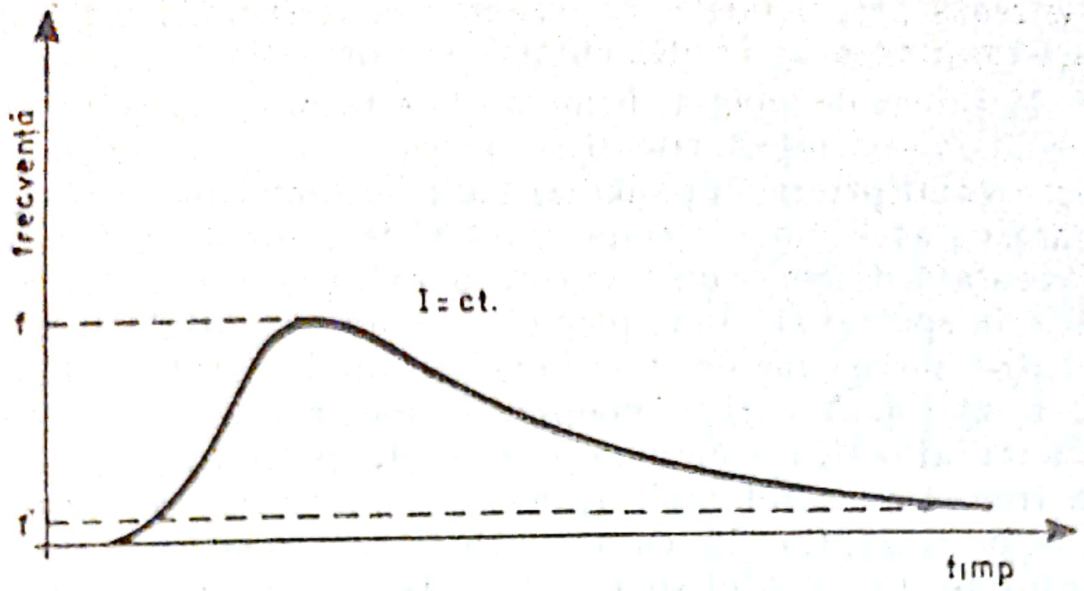


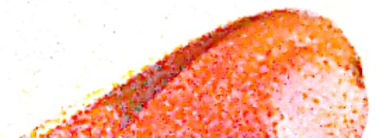
Fig. 3.14

variații ale excitanților externi, la schimbări de stare ale mediului care ar necesita anumite reacții noi, adecvate. Pentru o stare staționară pe care organismul a recepționat-o, este inutil a-i solicita rezervele energetice și a furniza semnale redundante centrilor prelucrători de informație. Prin adaptare, reactivitatea receptorului se modifică în mod activ, sub influența excitantului însuși.

Proprietatea celulei nervoase de a codifica și transmite informația în diferite puncte ale organismului a asigurat o eficacitate sporită procesului de adaptare a organismelor complexe.

3.1.4. *Modelarea celulei*

Simularea pe calculator a unui sistem biologic implică, în primul rînd, elaborarea unui model simplificat, prin care să se reducă complexitatea sistemului viu. Această simplificare nu trebuie să se facă în sensul eliminării unor părți sau funcțiuni ale sistemului viu, ci prin combinarea (gruparea) elementelor sale constitutive în *agregate* care, interconectate, să reproducă funcționarea reală, la nivelul sistemic cel mai adecvat pentru studiul procesului urmărit. Modelul obținut constituie o *imagine homomorfă* a sistemului studiat, care



păstrează proprietăţile interesante ale acestuia, fiind în acelaşi timp adecvat implementării pe calculator[1].

Noţiunea de imagine homomorfă este mai intuitivă dacă se consideră spaţiul stărilor (S), în care obiectul simulat este reprezentat printr-un punct (s) sau prin vectorul ce uneşte originea cu acel punct. Comportarea sistemului în timp este reprezentată de *traiectoria* pe care punctul reprezentativ o descrie în spaţiul stărilor, plecînd din starea iniţială şi trecînd printr-o succesiune de stări în starea finală, conform funcţiei de tranziţie. A găsi o imagine homomorfă sau un model al sistemului real, înseamnă a găsi un alt spaţiu (S') şi o funcţie de tranziţie, astfel încît traiectoria punctului reprezentativ să se păstreze. Cu alte cuvinte, chiar dacă reprezentarea sistemului are loc într-un spaţiu simplificat, comportarea lui trebuie să fie aceeaşi.

În ceea ce priveşte procesul de obţinere a unor modele simplificate prin gruparea sau concentrarea elementelor obiectului real, el se poate descompune în două subprocese: gruparea (reducerea) coordonatelor şi gruparea (reducerea) spaţiului stărilor.

Pe aceste considerente s-a încercat simularea celulei Escherichia coli, pe un calculator numeric[2]. Autorii au urmărit simularea funcţionării *globale* a celulei (şi nu a unor aspecte particulare), ceea ce a determinat o simplificare considerabilă a descrierii sale. Astfel, cele peste 3.000 de tipuri de molecule constituente au fost grupate în cîteva zeci de *agregate chimice*. Gruparea moleculelor s-a făcut pe considerente de proximitate metabolică şi de relaţii funcţionale. Astfel, s-au grupat într-un acelaşi agregat, moleculele cu acelaşi rol în procesele metabolice; 12 din acestea sînt reprezentate în fig. 3.15. *a*, în care săgeţile reprezintă sensul transportului de substanţă dintre ele.

În ceea ce priveşte relaţiile funcţionale, ele depind de nivelul sistemic la care se efectuează studiul. Astfel, ţinînd seama de formalismul teoriei sistemelor, după cum *spaţiul stărilor* este structurat la nivel atomic, molecular, sau la nivelul unor agregate superioare (aminoacizi etc.) funcţiile de tranziţie vor fi, respectiv ecuaţia lui Schrödinger din mecanica

---

[1] J. Klir, M. Valach, *Cybernetic Modelling*, Van Nostrand, Princenton, 1967.

[2] B. Zeigler, R. Weinberg, *Computer Simulation of a Living Cell*, în „*Journal of Theoretical Biology*", nr. 1, vol. 29, 1970.

Scanned with OKEN Scanner

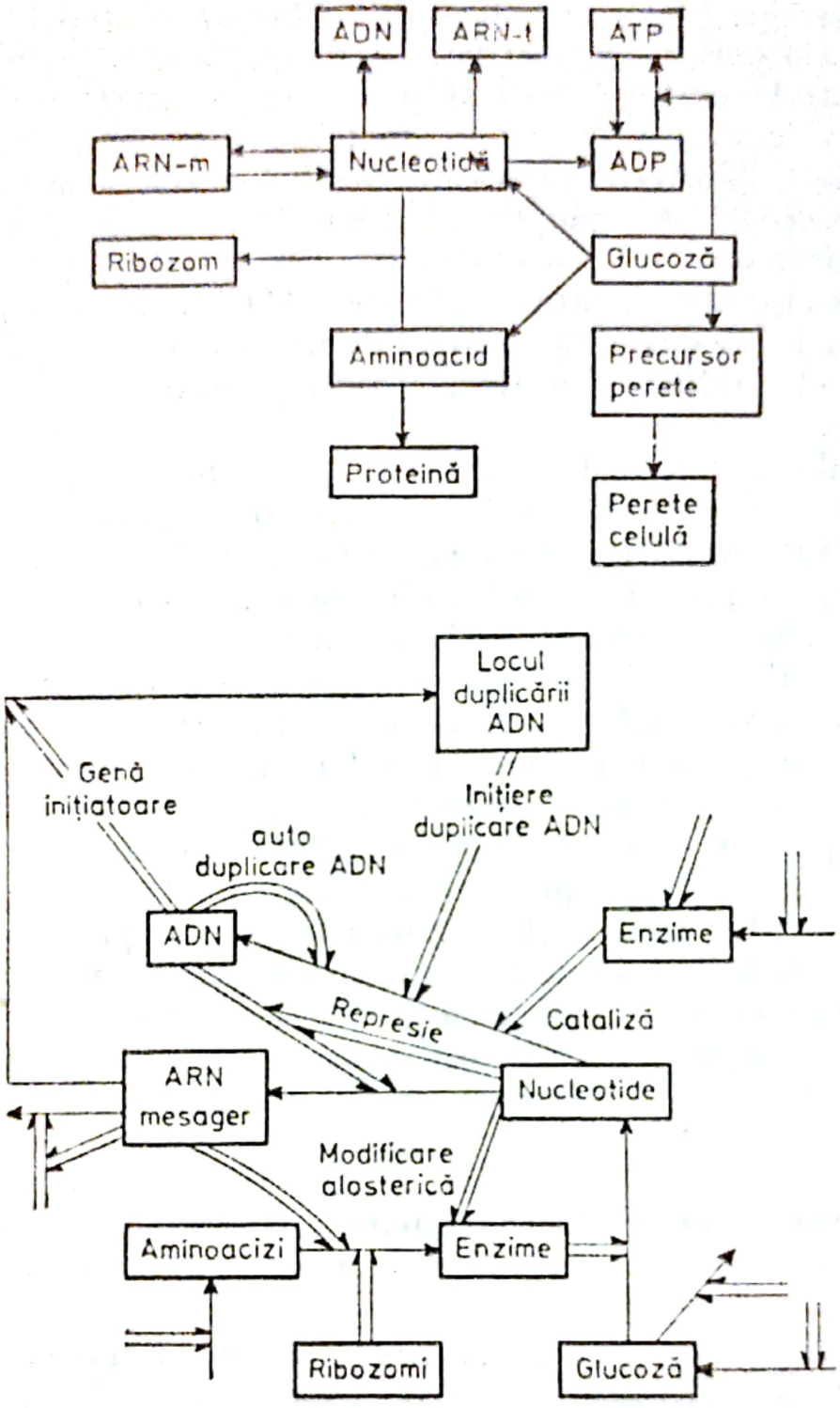


Fig. 3.15 a, b

cuantică, modele probabilistice, ecuații matematice bazate pe cinetica moleculară sau mecanisme de control molecular (ca inhibiția alosterică). Acest ultim nivel sistemic este cel ales de autori.

În afara agregatelor chimice reprezentate în fig. 3.15. *a*, modelul celulei E. coli mai cuprinde și alte entități ca: enzime,

Scanned with OKEN Scanner

ARN-mesager, aparatul genetic, volumul celulei, numărul celulei din cultura respectivă. Toate aceste entităţi formează coordonatele *vectorului de stare* în reprezentarea celulei în spaţiul stărilor.

Funcţiile de tranziţie ale modelului se referă la următoarele aspecte ale funcţionării celulei: 1) reacţiile chimice, 2) modificarea alosterică a enzimelor, 3) represiunea producerii de ARN-mesager, 4) autoduplicarea ADN-ului şi 5) permeabilitatea celulei. Aceste relaţii sînt reprezentate în fig. 3.15, *b* prin săgeţi duble; săgeţile simple reprezintă transportul de substanţe.

Simularea celulei E. coli a fost axată pe trei aspecte fundamentale ale funcţionării sale: *creşterea*, prin acumularea de substanţe nutritive din mediul înconjurător (de asemenea, simulat); *adaptarea* celulei, adică modificarea metabolismului său în funcţie de calităţile nutritive ale mediului şi *diviziunea* celulei, adică mecanismul de duplicare a ADN-ului.

În paragraful 3.1.2. s-a văzut că funcţionarea adaptivă a celulei se explică prin mecanismul inhibiţiei alosterice, care comandă funcţionarea enzimelor. Simularea acestui mecanism a permis obţinerea unor rezultate deosebit de satisfăcătoare atît în ceea ce priveşte o celulă singulară, cît şi populaţii de celule. S-au efectuat studii în ceea ce priveşte *evoluţia* populaţiilor de celule E. coli, prin simularea mutaţiilor şi a recombinărilor şi observarea gradului de adaptare în decursul a cîtorva generaţii succesive.

3.2. Structuri celulare adaptive

Modificările care au loc la nivelul celulei în urma influenţelor externe, reprezintă o formă elementară de adaptare. În organismele multicelulare, celulele s-au diferenţiat treptat pe funcţiuni specifice, organizîndu-se în structuri din ce în ce mai complexe. Acestea formează ţesuturi, organe, sisteme de organe, fiecare avînd o funcţionare proprie, dar integrată în cadrul sistemului de ordin superior, fiinţa vie.

O vastă reţea de comunicaţii asigură coordonarea funcţionării, la toate nivelele, a acestor structuri interconectate, transmiţînd mesaje electrochimice asupra factorilor externi şi interni.

Scanned with OKEN Scanner

Una din structurile cu un înalt grad de organizare și care dispune, în același timp, de o mare flexibilitate, putîndu-se adapta cu ușurință la condițiile externe, este structura nervoasă. Rezultată din interconexiunea a miliarde de neuroni, sistemul nervos este o rețea de transmisie, prelucrare și stocare a informației cu mari posibilități de autoorganizare. Vom prezenta, în continuare, o teorie privind modul de organizare a celulelor nervoase în urma funcționării, teorie care a suscitat numeroase modele tehnice, și a influențat considerabil studiile neurofiziologice din a doua jumătate a secolului nostru.

3.2.1. *Ansambluri celulare neuronale*

Căutînd o explicație neurofiziologică a modificărilor de comportament, Hebb[1] a avansat ipoteza formării, în ariile asociative ale cortexului, a unor ansambluri de celule, ca urmare a unor stimulări repetate a receptorilor. Formarea ansamblurilor se bazează pe un proces progresiv de creștere a activității sinaptice la limita dintre două celule nervoase ce transmit în repetate rînduri o aceeași excitație. Pentru ca modificările sinaptice să poată avea loc, Hebb admite existența unor *trasee mnezice temporare* (așa-numitele circuite reverberante), care păstrează urma unei activități sau a unui eveniment senzorial, constituind o memorie de scurtă durată, instabilă și trecătoare. Ea se menține, dacă este întărită și duce la formarea modificărilor sinaptice stabile, care constituie memoria de lungă durată.

Se observă că, prin această teorie, Hebb leagă problema învățării de aceea a generalizării perceptuale și de aceea a memoriei.

Hebb a formulat ipoteza sa în modul următor: „Dacă axonul unei celule *A* este suficient de apropiat pentru a excita o celulă *B*, și participă fie în mod alternativ, fie în mod continuu la descărcarea sa, se produce un proces de creștere, sau o modificare metabolică într-una din celule sau în amîndouă, astfel încît eficacitatea celulei *A* în ceea ce privește descărcarea lui *B* să crească".

Creșterea eficacității poate fi realizată, după Hebb, fie prin creșterea numărului de butoni sinaptici de la axonul

---

[1] D. O. Hebb, *The Organization of Behavior*, Wiley, New York, 1949.

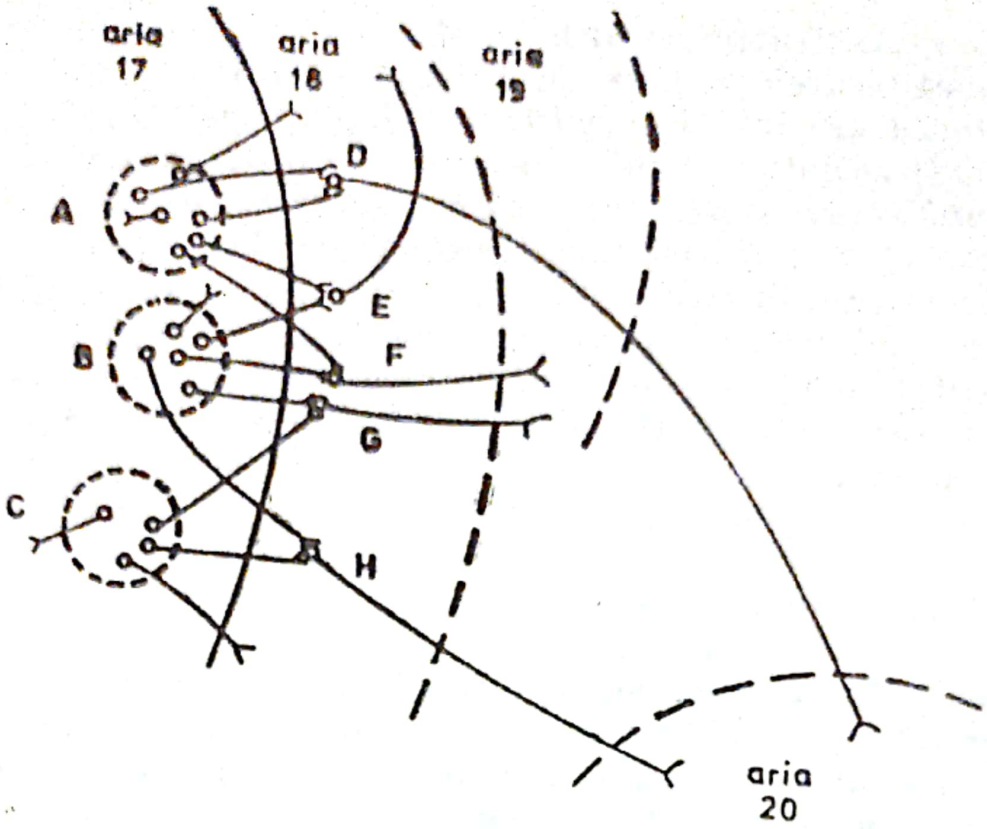


Fig. 3.16

celulei *A* la soma celulei *B*, sau a creşterii suprafeţei celor existenţi, în scopul scăderii rezistenţei sinaptice şi a facilitării transmisiei informaţiei.

Aceste modificări structurale ar lua naştere progresiv, în cursul unui proces de învăţare. *Modificările adaptive ale reţelei neuronale, constituie deci substratul material al modificărilor comportamentale care au loc în timpul procesului de instruire.*

Pentru a ilustra procesul de întărire structurală a transmisiei sinaptice în cazul percepţiei vizuale, Hebb a reprezentat convergenţa selectivă a unor celule din aria vizuală (17) spre celule din alte arii ale cortexului (18, 19, 20) în urma unei activităţi (vizuale) repetate (fig. 3.16). Se ştie că, în aria vizuală 17, există o reproducere topologică a activităţilor retiniene, dar că între ariile 17 şi 18 nu mai există o corespondenţă punct cu punct ci o conducţie difuză; orice organizare topografică a procesului vizual pare a fi dispărut în aria 18 şi cele care urmează. Hebb este de părere că *integrarea perceptuală*, care se efectuează în aceste arii este un proces lent de organizare care are loc pe baza modificărilor sinaptice. În fig. 3.16, celulele *F* şi *G* din aria 18 primesc, ambele, excitaţii din aria 17, dar, datorită dispoziţiei fibre-

Scanned with OKEN Scanner

lor nervoase, celula F are şanse mai mari să se descarce atunci cînd sînt excitate simultan celulele A şi B, iar celula G atunci cînd sînt excitate B şi C. Celulele din aria 18 sînt dispuse în mod aleator, dar în virtutea conexiunilor lor structurale (întărite progresiv), ele tind să fie excitate selectiv, ori de cîte ori aceeaşi excitaţie apare în aria 17. Aceasta se aplică în continuare şi ariilor 19 şi 20. Conform acestei teorii, două celule sau sisteme de celule care sînt simultan active, tind să se *asocieze*, astfel încît activitatea uneia din ele să uşureze activitatea celeilalte. Rezultă o structurare lentă a unor ansambluri de celule, prin *fracţionare* şi *recrutare*, adică prin eliminarea celor inactive şi cooptarea celor ce activează simultan şi între care s-au produs facilitări sinaptice.

3.2.2. *Modele de structuri celulare*

O încercare recentă de a modela pe calculator formarea ansamblurilor celulare a fost făcută de Finley în teza sa de doctorat intitulată „Un studiu experimental asupra formării şi dezvoltării ansamblurilor celulare hebbiene, prin simularea unei reţele neuronale".

Pentru a simula comportarea neuronului, se ţine seama de existenţa sinapselor excitatorii şi inhibitorii, a pragului şi a perioadelor refractare. Funcţionarea neuronului este reprezentată de ecuaţia:

$$R(t)+F(t) \leqslant \sum_i S_i(t)d_i(t)+I(t),$$

care exprimă faptul că suma impulsurilor de intrare (membrul drept al ecuaţiei) trebuie să fie mai mare, sau cel puţin egală cu pragul neuronului (membrul stîng al ecuaţiei). Mai exact, valoarea pragului la momentul t este condiţionată de doi termeni: $R(t)$ care reprezintă post-efectul, de scurtă durată, al unei excitaţii (perioada refractară) şi $F(t)$, care reprezintă post-efectul, de durată mai lungă, al unor excitaţii repetate (oboseala). Mai departe, $S_i(t)$ reprezintă *ponderea* sau valoarea sinapsei ce leagă neuronul i cu neuronul simulat; ea poate avea valoarea zero dacă între cei doi neuroni nu există conexiune, valori pozitive sau negative pentru conexiuni excitatorii, respectiv inhibitorii. Coeficientul $d_i(t)$

Scanned with OKEN Scanner

are valoarea 0 sau 1, după cum sinapsa este activă, respectiv inactivă la momentul t. În sfîrșit, $I(t)$ reprezintă o intrare *externă* prin care experimentatorul poate excita neuronul.

Fiecare din acești termeni este funcție de mai mulți parametri ajustabili. Astfel, valoarea pragului dată de $R(t)$ este o funcție de *starea de revenire* a neuronului, $r(t)$. Funcția respectivă, numită *funcția de prag*, V, realizează o aplicație a mulțimii valorilor lui $r(t)$ în mulțimea valorilor lui $R(t)$, conform *ecuației fundamentale*:

$$R(t)=V[r(t)],$$

în care $r(t)=0$ dacă neuronul detonează la t, sau $r(t)=r(t-1)+1$ dacă neuronul nu detonează; valoarea maximă este r_{max} și nu poate fi depășită. Prin aceasta se pune în evidență că starea de revenire (respectiv parametrul r) este un număr care crește cu cît detonarea a avut loc mai demult. Funcția de prag V variază în funcție de r, ca în fig. 3.17. Se observă că, cu cît detonarea este mai veche (r mare) pragul se micșorează. Pînă la valoarea r_a are loc perioada refractară absolută, în care pragul fiind infinit, neuronul nu mai poate detona; r_b marchează sfîrșitul perioadei refractare relative. Atît forma curbei, cît și valorile parametrilor r_a, r_b și r_{max} sînt la latitudinea experimentatorului. Asemenea parametri ajustabili există și în ceea ce privește valorile sinapselor și a celorlalte mărimi din relația de bază de mai sus.

Odată reglați parametrii neuronilor simulați, urmează interconectarea lor în cadrul unei rețele formate din cîteva

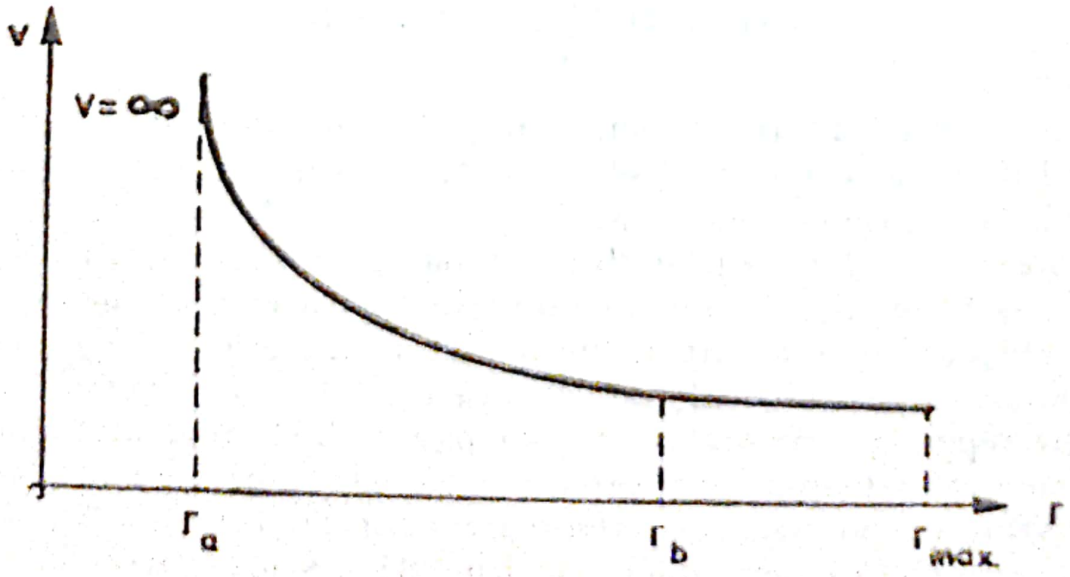


Fig. 3.17

Scanned with OKEN Scanner

sute de asemenea elemente. În concepţia lui Finley există două scheme de interconectare. În schema de conectare *uniform aleatorie* fiecare pereche de neuroni ce formează o conexiune sinaptică este selectată în mod aleator pînă se obţine o anumită densitate de conexiuni dinainte stabilită (de exemplu, o medie de 12 intrări pe neuron). În schema de conectare *în funcţie de distanţă*, sinapsele se aleg tot aleatoriu, dar neuronii respectivi trebuie să se găsească în vecinătatea neuronului considerat.

De notat că reglajul iniţial al parametrilor neuronilor individuali este foarte important, întrucît, aşa cum arată autorul, prin interconectare, reţeaua poate deveni instabilă începînd să oscileze sau, dimpotrivă, se poate bloca.

Cercetările iniţiale s-au efectuat asupra unor reţele simple, cu puţini parametri variabili. Progresiv, s-au introdus toate elementele conţinute în *ecuaţia fundamentală*, obţinîndu-se reţele complexe care au pus în evidenţă unele caracteristici ale reţelelor neuronale vii.

Astfel, prin aplicarea unui stimul extern, periodic, unei submulţimi de neuroni din reţea, după cîteva mii de stimulări, s-a observat formarea unor mici grupuri de neuroni interconectaţi, în care are loc o activitate în circuite închise. Asemenea circuite pot fi comparate cu ansamblurile neuronale ale lui Hebb. Ulterior, Finley a demonstrat că prin excitarea alternativă cu stimuli diferiţi a două grupuri de neuroni, iau naştere două ansambluri neuronale diferite, a căror interacţiune este conformă teoriei lui Hebb.

3.2.3. *Automate celulare*

Automatele celulare reprezintă o clasă de maşini abstracte de studiul cărora se ocupă o ramură a teoriei generale a automatelor[1,2]. Acestea sînt reţele de elemente identice, interconectate în anumite moduri şi a căror funcţionare ascultă de reguli specifice. Cu ajutorul lor se pot realiza modele de automate celulare naturale.

Automatele celulare sînt descendentele, pe plan teoretic, a *reţelelor modulare* elaborate de Mc Culloch şi Pitts în

[1] M. A. Arbib, *Theories of Abstract Automata*, Prentice Hall, 1969.
[2] A. W. Burks (ed), *Essays on Cellular Automata*, Illinois Press, 1970.

Scanned with OKEN Scanner

jurul anilor 1940, și care au constituit primele modele de rețele neuronale.

Concomitent cu aceste încercări de modelare și independent de ele, s-a dezvoltat teoria generală a automatelor finite, avînd drept scop crearea unui cadru teoretic adecvat descrierii funcționării unui sistem fizic prevăzut cu un număr finit de *stări interne*, cu *intrări* și *ieșiri* și a cărui funcționare se desfășoară secvențial în timp.

Primele mașini care s-au încadrat în această teorie — și care au stimulat chiar acest tip de cercetare — au fost mașinile de calcul. Dar, chiar în acest stadiu, matematicieni ca Turing au căutat să generalizeze funcționarea acestor mașini. Mașina Universală Turing este un automat conceptual care îndeplinește condițiile pentru a efectua orice calcul ce poate fi pus sub o formă algoritmică, adică se poate efectua într-un număr finit de pași, conform unor reguli bine definite.

Dar, sub formă algoritmică pot fi puse nu numai calculele, ci și *operațiile logice* și chiar *limbajele formale* generate de o anumită gramatică. Astfel încît, modelul abstract al automatului finit, dat de Mealy și Moore în jurul anilor 1950, a devenit un model general, pentru descrierea funcționării oricărei mașini de prelucrare a informației. Acest model este format din trei mulțimi și două funcții și anume:

— mulțimea stărilor automatului, notată cu A;

— mulțimea semnalelor de intrare, notată cu X;

— mulțimea semnalelor de ieșire, notată cu Y;

— funcția de trecere, notată cu δ, care face să corespundă unei stări și unui semnal de intrare, o anumită stare a automatului, ceea ce se scrie: $\delta: A \times X \rightarrow A$;

— funcția de ieșire, notată cu λ, care face să corespundă unei stări a automatului și unui semnal de intrare, un anumit semnal de ieșire: $\lambda: A \times X \rightarrow Y$.

Se numește deci automat, sistemul: A, X, Y, δ, λ.

Prin această reprezentare abstractă se poate analiza funcționarea unui sistem fizic care, plecînd din anumite condiții inițiale (stare și semnal de intrare), efectuează o operație al cărei rezultat apare sub forma unui semnal de ieșire și determină, în același timp, schimbarea stării interne a sistemului. Este un mod de a conceptualiza funcționarea atît de variată a nenumăratelor sisteme fizice — naturale sau tehnice — printr-un model unitar, care, neglijînd specificul fiecărui sistem particular, reliefează ceea ce este esen-

Scanned with OKEN Scanner

ţial şi comun tuturora, adică legătura dintre semnalele de intrare şi cele de ieşire şi schimbările de stare.

Ulterior, s-a observat că pentru a modela în mod mai realist comportarea sistemelor fizice (în special a celor biologice), ar trebui să se ţină seama şi de influenţa *perturbaţiilor*, adică a unor semnale neprevăzute, întîmplătoare, care pot apărea din exteriorul sau interiorul sistemului, deranjînd funcţionarea sa. După cum scria A. N. Kolmogorov, „creierul omenesc şi, din păcate, adeseori şi maşinile de calcul, sînt departe de a acţiona întotdeauna în mod determinat, în deplină conformitate cu o lege. Rezultatul acţiunii lor într-un moment anume depinde adeseori de întîmplare"[1].

Pentru a formaliza influenţa *întîmplării* în funcţionarea unui automat, s-a introdus conceptul de probabilitate în definirea funcţiilor de trecere şi de ieşire[2]. Un *automat aleator* este sistemul:

$$\{A,\ X,\ Y,\ p^{\circ}(a,x),\ p[(a',\ x')/(a,x)],\ p[(y)/(a,x)]\}$$

în care:

$p^{\circ}(a,x)$ este probabilitatea iniţială a stărilor şi semnalelor de intrare ale automatului;

$p(a',x')/(a,x)$ este probabilitatea ca automatul să treacă din starea a cu semnalul de intrare x, în starea a', cu semnalul de intrare x';

$p[y/(a,x)]$ este probabilitatea ca la ieşirea automatului să existe semnalul y, dacă la momentul anterior se găsea în starea a şi avea la intrare semnalul x.

Se observă că prin acest formalism funcţionarea sistemului nu mai poate fi prezisă cu certitudine, aşa cum se întîmpla în cazul automatelor deterministe.

Dezvoltarea relativ recentă a automatelor celulare corespunde necesităţii de a găsi un formalism adecvat modelării structurilor — vii sau inerte — formate din interconectarea unui mare număr de elemente identice. Este cazul sistemului nervos, a cărui funcţionare rezultă din interconectarea a miliarde de celule cvasiidentice; sau este cazul sistemelor tehnice de calcul care efectuează o mare varietate de operaţii logice cu ajutorul unor elemente standard, interconectate.

---

[1] A. N. Kolmogorov, *Teoria transmisiei informaţiei*, în *Analele Româno-sovietice*, seria matematică-fizică, 13, 1, 1959.

[2] Rabin N. O., *Probabilistic automata*, în *„Information and control"*, 6/1963.

Scanned with OKEN Scanner

Un automat celular (numit și spațiu celular sau rețea iterativă) este o colecție (finită sau infinită) de elemente identice, interconectate după o anumită regulă. De exemplu, pentru un spațiu celular plan (bidimensional), aranjarea celulelor se face pe o grilă rectangulară, în coordonate carteziene. Celulele învecinate cu care interacționează o celulă dată, pot fi, fie cele patru celule octogonale adiacente, de coordonate (0, 1), (0, −1), (1, 0) și (−1, 0), fie cele opt celule adiacente, în care se includ și cele situate pe diagonală, de coordonate (1, 1), (1, −1), (−1, 1) și (−1, −1).

Există o *funcție de tranziție* a spațiului celular care determină schimbarea de stare a rețelei de la un moment la altul. *Starea* rețelei este ansamblul stărilor celulelor individuale, fiecare din ele schimbîndu-și starea în baza unei *funcții de tranziție celulare*. Comportarea spațiului celular este determinată prin specificarea stării inițiale și a succesiunii de semnale care i se aplică din exterior.

Un exemplu de automat celular este programul lui John Conway, numit „Life" (Viață) prin faptul că simulează dinamica unei populații de ființe vii[1]. Spațiul celular este un spațiu bidimensional, cartezian, în care fiecare celulă are opt vecini (pe coordonatele rectangulare și pe diagonale), așa cum s-a arătat mai sus. Fiecare celulă are două stări posibile: ocupată (vie) sau vidă (moartă). Funcția de tranziție a celulei este definită prin următoarele patru reguli: 1) o celulă *ocupată*, avînd doi sau trei vecini *ocupați* la momentul t rămîne *ocupată* (supraviețuiește) la momentul $t+1$ (la noua generație); 2) o celulă *ocupată*, cu patru sau mai mulți vecini *ocupați*, devine *vidă* (*moartă* prin *suprapopulație*) la momentul următor; 3) o celulă *ocupată* cu mai puțin de doi vecini ocupați *moare* prin *izolare*; 4) o celulă *vidă* cu exact trei vecini *ocupați* devine ocupată (*se naște*) la noua generație.

Cele patru reguli de mai sus pot fi reprezentate printr-un graf în care starea 1 corespunde celulei ocupate, iar starea 0 celulei vide; arcele sînt marcate cu numărul de vecini ocupați (fig. 3.18).

Urmărind comportarea unui spațiu celular de tip „Life" se observă formarea de grupuri de celule diferențiate, din care unele tind spre dispariție, altele își păstrează o stare staționară, altele încep să oscileze, trecînd succesiv dintr-o

[1] În „*Scientific American*", oct. 1970, pp. 120–123.

Scanned with OKEN Scanner

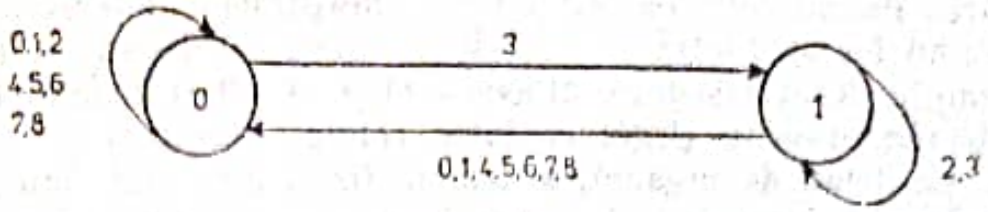


Fig. 3.18

stare într-alta, iar altele au o comportare nedefinită, neprezentînd nici o tendință de-a lungul a cîtorva sute de generații.

3.3. Sisteme automate tehnice și biologice

Conducerea automată a proceselor tehnologice și desfășurarea proceselor vitale pot fi înglobate în aceeași schemă conceptuală. În ambele cazuri există un *proces reglat*, a cărui funcționare trebuie să satisfacă anumite performanțe și un *regulator* sau *dispozitiv de automatizare*, care asigură acest deziderat, controlînd în permanență desfășurarea procesului (fig. 3.19). Funcționarea sistemului se bazează pe circulația informației între procesul reglat și blocul de reglaj, astfel încît orice abatere a procesului de la valoarea corectă să poată fi sesizată și corectată.

Dacă în domeniul tehnic astfel de sisteme sînt bine puse la punct, atît din punct de vedere teoretic, cît și practic, în domeniul biologic aplicarea acestor concepte este relativ lentă, datorită următoarelor cauze:

Complexitatea sistemelor biologice face dificilă separarea părților componente ale sistemului automat, așa cum s-au reprezentat ele în fig. 3.19; practic, nici nu vom găsi totdeauna un „comparator" sau un „detector de eroare" ca

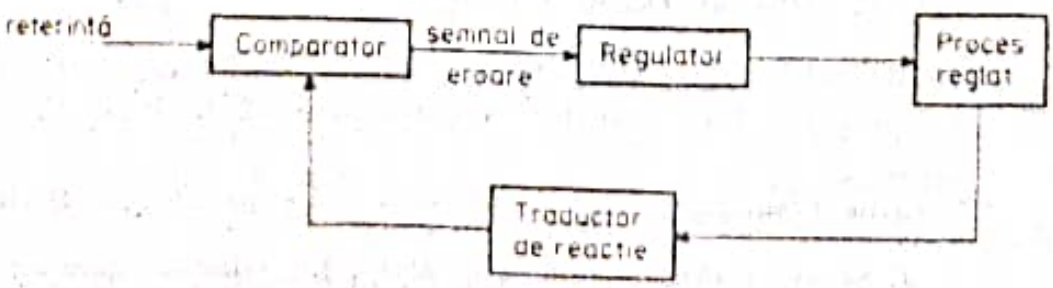


Fig. 3.19

atare. Pe de altă parte, datorită multiplelor interacţiuni care au loc atît între elementele aceluiaşi nivel sistemic (de exemplu, legăturile între diversele organe), cît şi între nivele sistemice diferite (legături între celule — ţesuturi — organe — sisteme de organe), sistemele fiziologice sînt formate din subsisteme avînd, în general, mai multe intrări şi mai multe ieşiri. Un „obiect reglat" biologic poate fi supus simultan acţiunii mai multor regulatoare.

Sistemele biologice sînt formate în cea mai mare parte din elemente neliniare (elemente cu prag, cu histerezis, cu memorie), ceea ce îngreunează formalizarea fenomenelor. Dacă în domeniul tehnic liniarizarea duce la o simplificare considerabilă a relaţiilor, în domeniul biologic ea ameninţă să denatureze fenomenul descris.

Şi, în sfîrşit, o dificultate mai apare şi din faptul că însuşi procesul pe care dorim să-l analizăm prin conceptele teoriei reglajului automat nu este suficient de bine cunoscut. Cunoştinţele noastre asupra lumii vii progresează neîncetat, ceea ce atrage după sine completarea şi rafinarea modelelor existente.

Totuşi, în ciuda dificultăţilor enumerate, o serie întreagă de aspecte ale funcţionării fiinţelor vii au început a fi studiate prin prisma conceptelor de reglaj. Este vorba de procesele care asigură stabilitatea, echilibrul mediului intern al individului la variaţiile mediului extern (homeostazia) şi de acelea care permit urmărirea anumitor semnale externe (servosisteme). Aceasta a dus la o mai bună înţelegere a proceselor respective, cu consecinţe favorabile asupra practicii medicale.

De aceea, după o scurtă incursiune în domeniul teoriei sistemelor de reglaj automat, vom da cîteva exemple de sisteme fiziologice de reglaj, scoţînd în evidenţă latura adaptivă.

3.3.1. *Sisteme de reglaj automat*[1,2]

Spre deosebire de sistemele de *comandă automată* (cu circuit deschis, sau fără reacţie), a căror schemă bloc se dă în

---

[1] S. Călin, *Regulatoare automate*, Ed. didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1967.

[2] C. J. Savant, *Calculul sistemelor automate*, Ed. tehnică, Bucureşti, 1967.

Scanned with OKEN Scanner

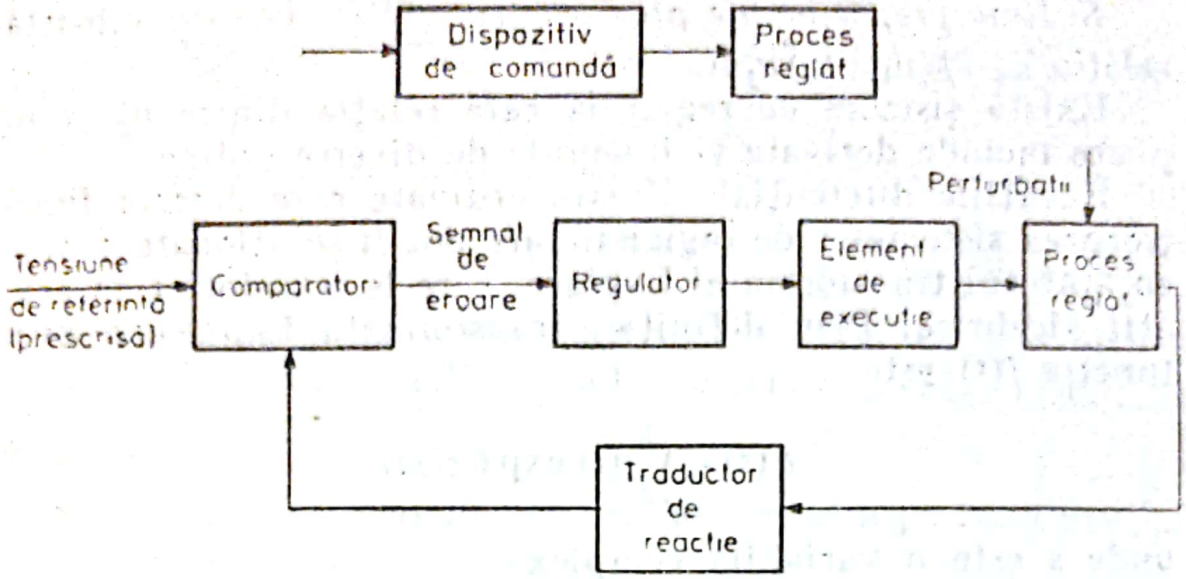


Fig. 3.20, a, b

fig. 3.20, sistemele de *reglaj automat* (fig. 3.20, *b*) își bazează funcționarea pe existența uneia sau mai multor căi de reacție.

Superioritatea sistemelor de reglaj (cu circuit închis) constă în faptul că, prin calea de reacție se transmite în permanență informația asupra stării procesului reglat, ceea ce permite menținerea unui control eficient asupra acestuia. Diferența dintre mărimea de referință, prescrisă și cea reală, acționează asupra regulatorului care emite comenzi ce prin intermediul elementului de execuție acționează asupra procesului reglat, aducînd mărimea de ieșire la valoarea prescrisă.

Dacă mărimea de ieșire trebuie menținută la o valoare constantă, independent de perturbațiile care apar, avem de-a face cu un sistem *regulator* (cu mărime de referință constantă). Dacă mărimea de ieșire variază continuu în timp, urmărind variațiile mărimii de referință, sistemul de reglaj devine un *servosistem*.

Studiul sistemelor de reglaj automat se poate face stabilind relațiile care leagă între ele mărimile de intrare și ieșire ale regulatorului. În funcție de aceste relații, se deosebesc mai multe tipuri de sisteme de reglaj.

Sisteme proporționale (*P*), la care semnalul de la ieșirea regulatorului este direct proporțional cu cel de la intrare: $u_2 = ku_1$, unde k este o constantă de proporționalitate.

Sisteme proporționale plus diferențiale (*PD*), la care subsistă relația $u_2 = k_1 u_1 + k_2 \frac{du_1}{dt}$.

Scanned with OKEN Scanner

Sisteme proporționale plus integrale (*PI*), la care subsistă relația $u_2 = k_1 u_1 + k_2 \int u_1 dt$.

Există sisteme de reglaj la care relația dintre u_2 și u_1 poate include derivate și integrale de diverse ordine.

Ecuațiile diferențiale liniare ordinare care descriu funcționarea sistemelor de reglaj liniare pot fi soluționate comod cu ajutorul transformatei Laplace, care le transformă în ecuații algebrice. Prin definiție, transformata Laplace a unei funcții $f(t)$ este

$$F(s) = \int_0^t f(t) \exp(-st) dt$$

unde s este o variabilă complexă.

În acest caz, ecuațiile de mai sus devin respectiv:

$u_2 = ku_1$ — sistem proporțional (fig. 3.21);

$u_2 = k_1 u_1 + k_2 s u_1$ — sistem proporțional plus diferențial (fig. 3.22);

$u_2 = k_1 u_1 + k_2 \frac{1}{s} u_1$ — sistem proporțional plus integral (fig. 3.23).

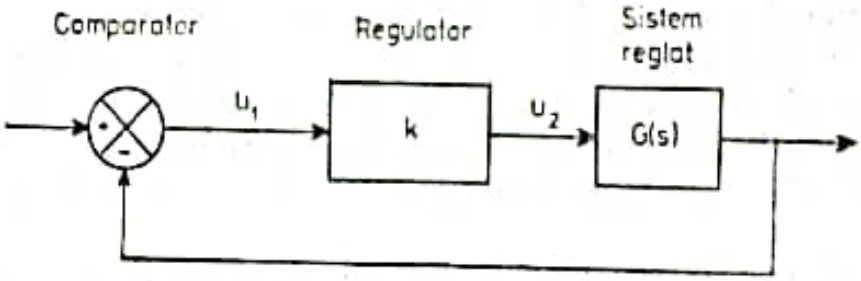


Fig. 3.21

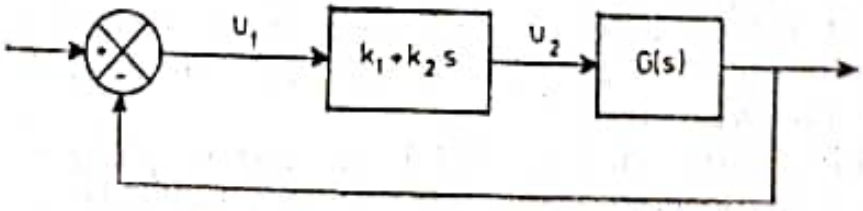


Fig. 3.22

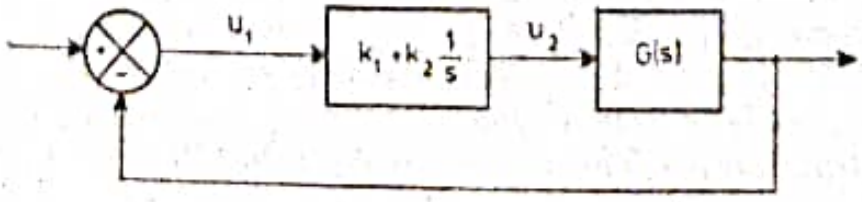


Fig. 3.23

Scanned with OKEN Scanner

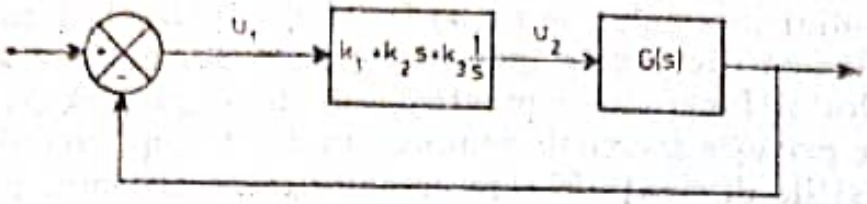


Fig. 3.24

În fig. 3.24 se mai reprezintă şi un sistem *PID* (proporţional-integro-diferenţial) avînd ecuaţia $u_2 = k_1 u_1 + k_2 s u_1 + k_3 \frac{1}{s} u_1$.

Sensul fizic al relaţiilor de mai sus rezultă pe baza următoarelor considerente:

Mărimea de intrare a regulatorului, notată cu u_1, reprezintă eroarea de corectat, adică diferenţa dintre mărimea prescrisă (de referinţă) şi mărimea reală a parametrului reglat. Mărimea de ieşire a regulatorului, notată cu u_2, reprezintă mărimea de execuţie ce acţionează asupra procesului reglat în scopul micşorării erorii.

Regulatorul proporţional, la care mărimea de execuţie este direct proporţională cu eroarea, se caracterizează printr-o bună stabilitate la perturbaţii, dar prin existenţa unor erori staţionare cauzate de dependenţa directă dintre mărimea erorii şi cea de execuţie.

La regulatorul diferenţial, mărimea de execuţie este proporţională cu derivata erorii (adică cu viteza de variaţie a erorii). Valoarea maximă a mărimii de ieşire are loc în momentul iniţial, la apariţia unei variaţii a mărimii de intrare, tinzînd apoi spre zero, pe măsură ce eroarea devine staţionară. Pentru a evita acest ultim inconvenient, regulatorul diferenţial se asociază cu cel proporţional, formînd sistemul reprezentat în fig. 3.22 (*PD*).

La regulatorul integral, mărimea de execuţie este proporţională cu integrala erorii sau, altfel spus, eroarea este proporţională cu derivata (viteza) mărimii de execuţie. Regulatorul integral nu este stabil, deoarece mărimea de execuţie creşte atîta timp cît există eroare la intrare; în schimb, el funcţionează fără eroare staţionară (variaţia mărimii de execuţie se opreşte numai cînd eroarea se anulează). Pentru a utiliza acest avantaj fără inconvenientul instabilităţii, regulatorul integral se asociază cu cel proporţional formînd regulatorul (*PI*) din fig. 3.23.

Studiul sistemelor de reglaj fiziologic revine la încadrarea lor într-una din aceste scheme conceptuale, a căror analiză teoretică şi funcţionare practică este bine pusă la punct în ceea ce priveşte sistemele tehnice. În acest scop, trebuie scrise ecuaţiile diferenţiale care caracterizează sistemul biologic luat în considerare, delimitîndu-l de sistemele înconjurătoare.

Stabilirea ecuaţiilor diferenţiale ale unui sistem (tehnic sau biologic) se face separînd variabilele de intrare de cele de ieşire şi exprimînd matematic legătura dintre ele. Se obţine astfel *relaţia intrare-ieşire* care caracterizează sistemul.

Fie o astfel de relaţie de forma unei ecuaţii diferenţiale liniare, cu coeficienţi constanţi:

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \ldots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y =$$

$$= b_m \frac{d^m x}{dt^m} + \ldots + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x,$$

în care a_i şi b_i sînt constante, y reprezintă mărimea de ieşire sau răspunsul şi x mărimea de intrare sau de comandă.

Aplicînd transformarea Laplace (în condiţii iniţiale nule) ecuaţia de mai sus devine:

$$(a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \ldots + a_1 s + a_0) Y = (b_m s^m + \ldots + b_1 s + b_0) X.$$

Raportul dintre transformata Laplace a mărimii de ieşire, Y şi cea a mărimii de intrare, X se numeşte funcţia de transfer a sistemului:

$$G(s) = \frac{Y}{X} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \ldots b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \ldots a_1 s + a_0}.$$

Întrucît constantele a_i şi b_i depind numai de elementele sistemului, funcţia de transfer $G(s)$ reprezintă o proprietate a sistemului. Funcţia de transfer permite calculul transformatei Laplace a răspunsului, conform relaţiei:

$$Y(s) = G(s) X(s)$$

În cazul particular în care la intrarea sistemului se aplică un impuls unitar[1], a cărui transformată Laplace este $X(s) = 1$,

[1] Impulsul unitar este o funcţie nulă cu excepţia momentului $t=0$, cînd valoarea sa este infinită.

Scanned with OKEN Scanner

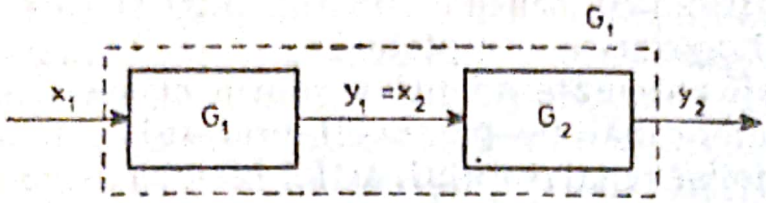


Fig. 3.25

relaţia precedentă devine: $Y(s)=G(s)$, ceea ce înseamnă că transformata Laplace a răspunsului (unui sistem liniar) la impulsul unitate este egală cu funcţia de transfer a sistemului. Aceasta constituie o metodă practică de determinare a funcţiei de transfer.

Transformata inversă a funcţiei de transfer se numeşte *funcţia de pondere* a sistemului.

În cele de mai sus s-au considerat exclusiv sisteme liniare; acestea sînt caracterizate prin proprietatea că dacă x_1 produce un răspuns y_1 iar x_2 un răspuns y_2, atunci o mărime de intrare: $a_1x_1+a_2x_2$ va produce un răspuns: $a_1y_1+a_2y_2$. În cazul sistemelor neliniare, aceste relaţii nu mai subsistă.

Dacă două sau mai multe sisteme liniare se conectează în serie şi dacă funcţiile lor de transfer sînt G_1, respectiv G_2, sistemul rezultant va avea funcţia de transfer $G_t=G_1\cdot G_2$ (fig. 3.25). Aceasta rezultă imediat din considerarea relaţiilor:

$$Y_1=G_1(s)X_1 \quad \text{şi} \quad Y_2=G_2(s)X_2;$$

dar

$$X_2=Y_1 \quad \text{şi deci} \quad Y_2=G_2(s)G_1(s)X_1=G_tX_1.$$

3.3.2. *Sisteme de reglaj adaptive*

Înzestrarea sistemelor clasice de reglaj automat cu capacitatea de adaptare, a apărut din necesitatea de a controla procese asupra cărora nu există o informaţie apriorică completă. Cu alte cuvinte, în momentul proiectării blocului de reglaj, omul nu are date iniţiale suficiente asupra caracteristicilor instalaţiei tehnologice reglate şi ale semnalelor care acţionează din exterior asupra instalaţiei. Acestea pot varia în mod imprevizibil, şi ca atare, proiectantul nu poate prescrie un program fix blocului de reglaj, aşa cum se întîmplă în cazul

Scanned with OKEN Scanner

clasic, ilustrat prin schema din fig. 3.20 și care corespunde informației apriorice complete.

Sistemele automate adaptive conțin elemente suplimentare, care determină, pe parcursul procesului, modificări ale caracteristicilor regulatorului, astfel încît să asigure o funcționare optimă a sistemului reglat.

Față de sistemele clasice de reglaj, aceste sisteme dispun de o capacitate informațională sporită, fiind receptive la o gamă mai largă de semnale exterioare pe care trebuie să le identifice și în baza cărora trebuie să emită comenzi de modificare a algoritmului de reglare. În plus, aceste comenzi urmăresc o desfășurare mai largă, de ansamblu, a procesului reglat, ceea ce implică, de asemenea, prelucrarea unei informații mai complexe. Se observă deci că pe măsura perfecționării lor, sistemele tehnice dobîndesc o capacitate mai mare de prelucrare a informației, condiție a efectuării unor operații din ce în ce mai complexe, fără intervenția omului.

Funcționarea unui sistem cu adaptare în circuit închis se poate urmări pe schema de principiu din fig. 3.26. Se observă existența a două bucle de reacție: cea clasică, formată din

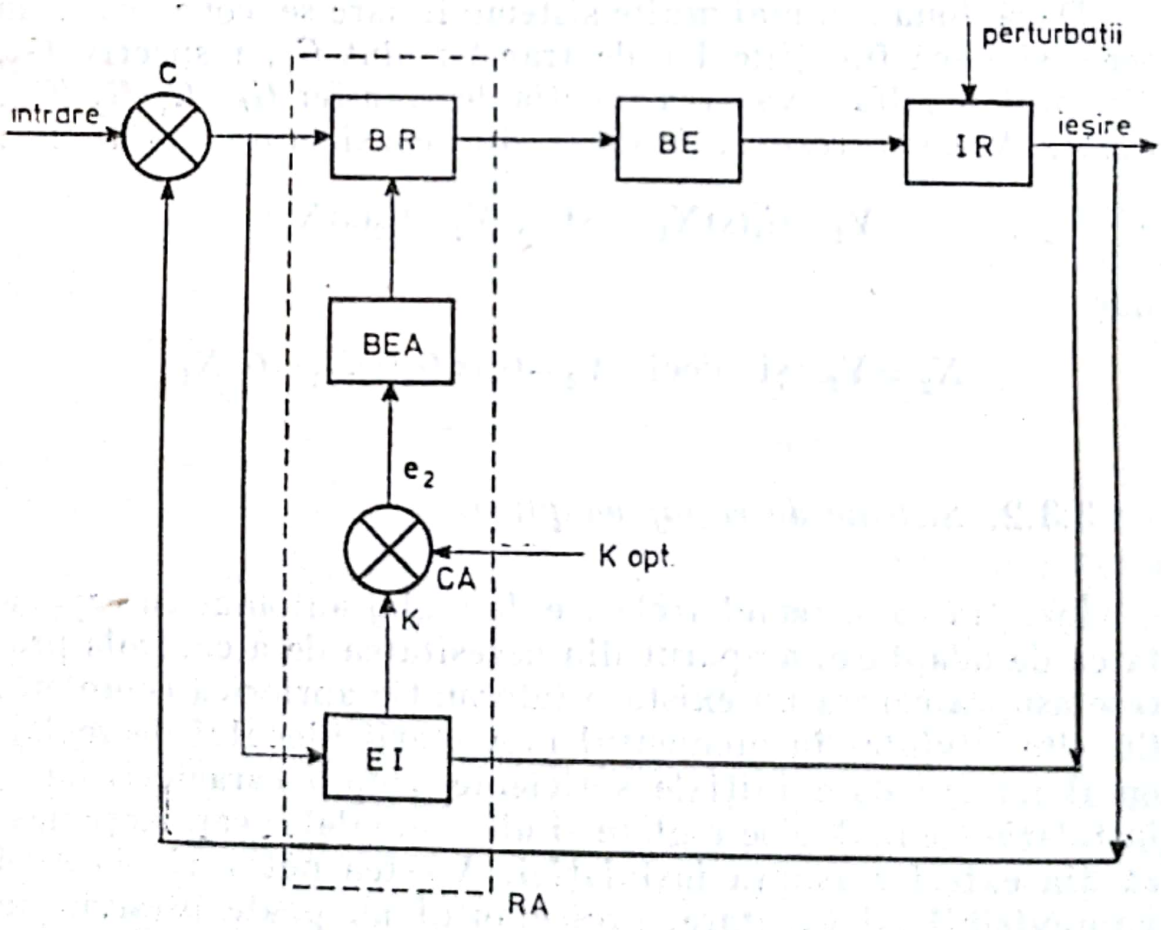


Fig. 3.26

Scanned with OKEN Scanner

comparatorul C, blocul de reglare BR, blocul de execuţie BE şi instalaţia tehnologică reglată IR şi bucla de reglaj adaptiv care cuprinde elementul de identificare EI, comparatorul circuitului de adaptare CA şi blocul de execuţie al circuitului de adaptare BEA. Din informaţiile primite atît de la intrarea, cît şi de la ieşirea sistemului, elementul de identificare determină valoarea parametrului (sau parametrilor) variabili ai instalaţiei, care pot suferi variaţii sub influenţa perturbaţiilor. În cazuri mai complexe, operaţia de identificare poate consta în determinarea unor caracteristici dinamice a instalaţiei în ansamblu, sau a unei părţi a acesteia. Valoarea rezultată în urma identificării este comparată cu valoarea optimală, diferenţa dintre aceste valori, e_2, fiind transmisă blocului de execuţie BEA care acţionează asupra blocului de reglare, în aşa fel încît să se obţină $e_2=0$ (parametrul reglat să fie egal cu cel optim). Ansamblul încadrat cu linie întreruptă în fig. 3.26 formează un regulator adaptiv (RA).

Din punctul de vedere al acţiunii blocului de execuţie (BEA) asupra blocului de reglare, aceasta poate fi de mai multe feluri: *a*) modificarea unuia sau mai multor parametri ai blocului de reglare; *b*) modificarea structurii însăşi a blocului de reglare (comutarea unor conexiuni sau subansamble). Primele se numesc sisteme adaptive cu autoajustare, iar cele de al doilea sisteme adaptive autoorganizabile.

Din exemplul prezentat rezultă cele trei tipuri de operaţii pe care trebuie să le realizeze, pe cale automată, un sistem adaptiv şi anume[1,2]:

a) *Operaţia de identificare*, prin care sistemul se informează asupra parametrilor sau caracteristicilor instalaţiei reglate sau a semnalelor aplicate sistemului şi ale căror valori suferă variaţii imprevizibile. Identificarea automată este o operaţie complexă, de precizia şi rapiditatea căreia depind performanţele sistemului adaptiv în ansamblu. Este o problemă de *recunoaştere a formelor* despre care se va vorbi mai pe larg în paragraful 4.6.

b) *Operaţia de sinteză sau de decizie*, prin care sistemul calculează valorile parametrilor blocului de reglare şi alege soluţia optimă, astfel încît, în prezenţa perturbaţiilor, să fie

---

[1] S. Călin şi C. Belea, *Sisteme automate adaptive şi optiminale*, Ed. tehnică, Bucureşti, 1971.

[2] S. S. L. Chang, *Synthesis of Optimal Control Systems*, Mc. Graw Hill, New York, 1961.

Scanned with OKEN Scanner

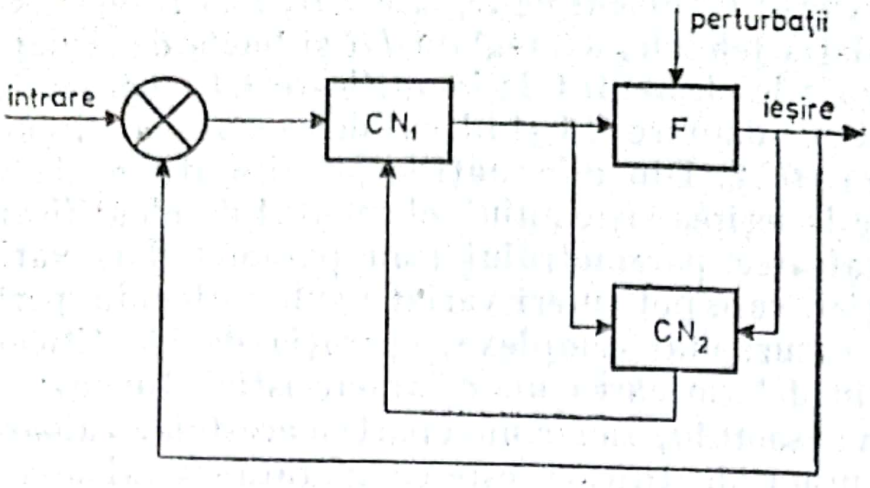


Fig. 3.27

îndeplinit în continuare criteriul de performanță impus. În cazul general, acest calcul se efectuează pe baza unui program prin care se prescriu valorile parametrilor blocului de reglaj corespunzător fiecărei valori a parametrilor instalației. În cazurile în care acest program nu se poate elabora, din cauza insuficienței informației apriorice, se face apel la un sistem instruibil ce îl elaborează singur, pe baza informației obținute din experiență, așa cum se va vedea în continuare.

c) *Operația de execuție*, prin care blocul de execuție al circuitului de adaptare determină modificarea parametrilor blocului de reglaj, astfel încît instalația să funcționeze optimal. Aceasta implică ajustarea unui element de corecție ce acționează asupra erorii.

După cum se observă, primele două operații implică procese de prelucrare a informației, mai mult sau mai puțin elaborate, în funcție de complexitatea instalației și de performanțele impuse.

În unele sisteme adaptive, pentru realizarea acestor operații sînt utilizate calculatoare analogice sau numerice, așa cum se arată în schema din fig. 3.27. Calculatorul numeric CN_1 realizează conducerea automată a procesului, preluînd funcțiunile blocului de reglaj din bucla clasică de reglaj. În blocul F este inclusă atît instalația reglată, cît și elementul de execuție a sistemului de reglaj. Cel de al doilea calculator, CN_2, realizează identificarea parametrilor variabili ai instalației reglate și transmite calculatorului CN_1 informația necesară modificării algoritmului de reglaj. Uneori funcțiunile celor două calculatoare sînt preluate de unul singur.

Scanned with OKEN Scanner

În general, odată ce a fost efectuată operaţia de identificare a parametrilor variabili ai instalaţiei tehnologice, comanda parametrilor blocului de reglaj se face după un program fix, în baza căruia elementele de calcul din circuitul de adaptare elaborează aceste comenzi.

În cazul unor instalaţii tehnologice foarte complexe, un astfel de program nu poate fi stabilit aprioric, întrucît nu se cunoaşte în mod explicit legătura dintre parametrii variabili ai instalaţiei şi parametrii sau structura corespunzătoare a blocului de reglaj. În acest caz, sistemul adaptiv este înzestrat cu un bloc suplimentar de calcul cu memorie, avînd rolul de a deduce, pe baza informaţiei acumulate, programul optim conform criteriului de performanţă impus, şi de a comanda în consecinţă elementele de calcul din circuitul de adaptare.

Deoarece un astfel de sistem utilizează experienţa proprie pentru a-şi îmbunătăţi funcţionarea, el pune în evidenţă capacitatea de instruire şi reprezintă deci un sistem *adaptiv instruibil*.

Procesul de învăţare va fi analizat pe larg în capitolul următor, atît în ceea ce priveşte aspectele sale pur biologice, cît şi modelarea sa prin mijloace tehnice. În cadrul acestui paragraf, vom menţiona numai cum se modifică schema unui regulator adaptiv pentru a deveni instruibil[1].

Deoarece instruirea este necesară în cazurile în care informaţia apriorică este insuficientă pentru a permite proiectantului să elaboreze un program de adaptare complet, este evident că această deficienţă va fi compensată prin înzestrarea maşinii cu un surplus de posibilităţi de calcul. Astfel, dacă circuitului clasic de reglaj din fig. 3.20 *b* i s-a adăugat o buclă de reacţie suplimentară pentru a-l transforma în sistemul adaptiv din fig. 3.26, adăugarea unei alte bucle conduce la sistemul adaptiv instruibil din fig. 3.28. De remarcat că fiecare buclă de reacţie ierarhizată care se introduce exercită un control asupra celei precedente: astfel, blocul de reglare clasic este controlat de elementul de execuţie al buclei adaptive, întregul sistem adaptiv este controlat la rîndul său de blocul de evaluare (*BE*), ansamblul formînd un regulator instruibil (*RI*). Blocul de evaluare *BE* este un clasificator de forme (par. 4.6) care stabileşte, prin încercări succesive, probabilitatea apartenenţei unei stări a instalaţiei controlate (o formă)

---

[1] Ya. Z. Taypkin, *Adaptation and Learning in Automatic Systems*, Academic Press, New York, 1971.

Scanned with OKEN Scanner

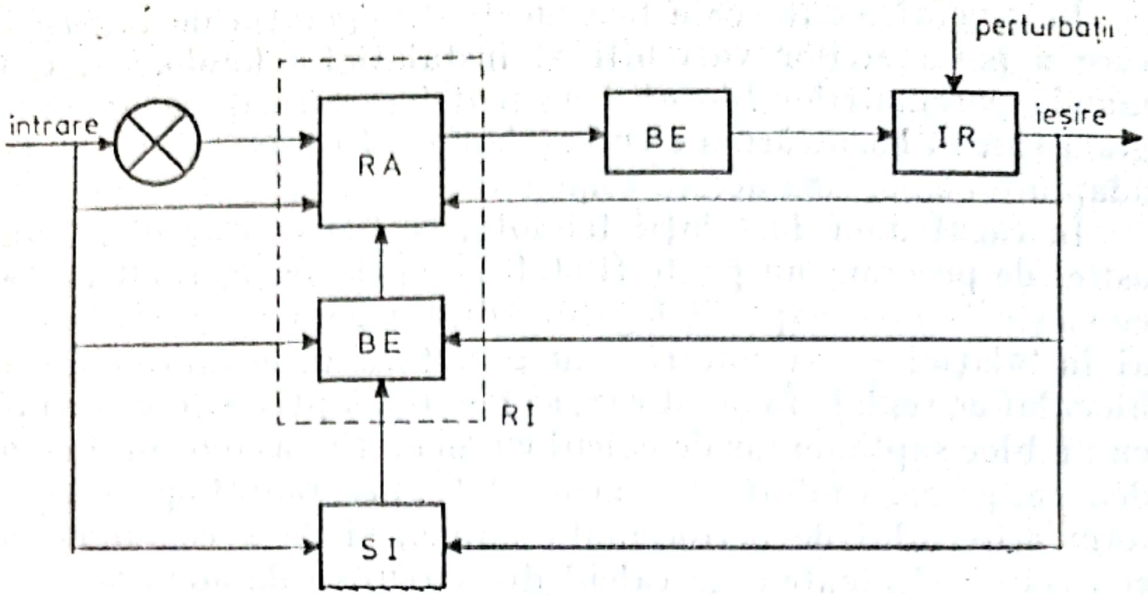


Fig. 3.28

la o clasă, pentru care se cunoaşte programul de reglaj. Problema *recunoaşterii formelor* a primit o dezvoltare teoretică deosebită în ultimul timp, fiind legată de majoritatea realizărilor din domeniul inteligenţei artificiale.

Desigur, blocul de evaluare (*BE*) nu poate realiza singur clasificarea corectă. El trebuie *ghidat* în încercările pe care le face, corectitudinea clasificării fiind apreciată de un *sistem instructor* (*SI*) exterior (în general un calculator), prevăzut cu informaţie suplimentară asupra desfăşurării procesului.

Prin adăugarea unor elemente suplimentare de calcul şi prin înzestrarea lui cu un algoritm de *căutare*, sistemul adaptiv poate deveni *autoinstruibil*, capabil să găsească, prin încercări, programul de reglaj ce permite satisfacerea criteriului de performanţă impus.

Rezultă deci că funcţionarea automată a sistemelor de reglaj, adică preluarea unei părţi din ce în ce mai mari din activitatea decizională a omului a fost posibilă prin adăugarea de blocuri de calcul din ce în ce mai elaborate. Creşterea capacităţii de prelucrare a informaţiei a transformat sistemele clasice de reglaj automat în sisteme adaptive, apoi instruibile şi în sfîrşit autoinstruibile.

3.3.3. *Sisteme de reglaj biologice*

Menţinerea la un anumit nivel — optim — a parametrilor chimici, fizici şi morfologici ai unui organism se face pe

Scanned with OKEN Scanner

baza unor procese de autoreglare adaptivă care constituie așa-numita *homeostazie*. Aceasta se întîlnește la toate nivelele de organizare sistemică a vieții, determinînd echilibrul și buna funcționare a organismelor.

La nivel individual, independența mediului intern față de variațiile mediului înconjurător se datorește unor mecanisme de reglare homeostazice care asigură stabilitatea temperaturii interne, a compoziției acidobazice și a nivelului glicemic al sîngelui, a presiunii arteriale, a ritmicității respirației etc. Pentru fiecare din acestea se pot stabili scheme și relații specifice. Interacțiunea dintre aceste mecanisme, coordonarea funcționării lor este asigurată de sistemul nervos și de cel endocrin, care asigură rețeaua de transmisie și prelucrare a informației.

a) **Reglarea nivelului glicemic al sîngelui.** Printre multiplele laturi ale homeostaziei sanguine (reglarea eritropoezei, a echilibrului acido-bazic, a hemostazei etc.), menținerea unei concentrații constante a glucozei (glicoreglarea) pune în evidență poate cel mai bine interdependența dintre diferitele subsisteme ale organismului, care face ca un obiect reglat să fie supus simultan mai multor acțiuni regulatoare[1,2].

Concentrația glucozei în sînge prezintă o constanță relativă, ceea ce asigură funcționarea normală a creierului și a mușchilor (principalii consumatori de glucoză). În ciuda variațiilor de alimentație și de efort muscular sau cerebral, nivelul glicemic se menține între 70 și 120 mg%.

Acțiunile regulatoare se exercită pe cale chimică, endocrină și nervoasă.

Reglarea de bază este chimică, în virtutea legii acțiunii maselor, a enzimelor și a catalizatorilor care intervin. De exemplu, în diabetul zaharat gras, în majoritatea cazurilor există insulină într-o concentrație mai mare decît cea normală, însă glucoza nu se „arde", nu se utilizează în țesuturi, deoarece acizii grași liberi inhibă reacțiile de ardere a glucozei, prin mecanism chimic direct.

Reglarea endocrină, prin hormoni, se suprapune peste cea chimică, favorizînd unele reacții, inhibînd altele, scopul fiind menținerea constanței mediului intern, respectiv a sîngelui. De exemplu, pentru a scădea hiperglicemia unui diabetic,

---

[1] H. T. Milhorn, *The application of Control Theory to Physiological Systems*, Saunders, Philadelphia, 1966.

[2] E. Bittman, *Cibernetică și biologie*, Ed. științifică, București, 1974.

Scanned with OKEN Scanner

insulina trebuie să se producă în cantităţi foarte mari; acelaşi efect l-ar avea o cantitate mai mică de insulină dacă omul ar slăbi şi ar avea mai puţini acizi liberi graşi în circulaţie.

Dintre glandele endocrine, la reglarea glicemiei participă pancreasul, suprarenalele, tiroida şi hipofiza; acţiunile lor sînt antagoniste, în sensul că, în timp ce secreţia de insulină a pancreasului este hipoglicemiantă, determinînd o scădere a glicemiei, celelalte trei glande sînt *hiperglicemiante*, ducînd prin secreţiile lor la o creştere a glicemiei. În funcţie de informaţiile primite asupra concentraţiei de glucoză în sînge, vor intra în funcţie unele sau altele dintre aceste sisteme de control. Acţiunile regulatoare ale glandelor menţionate au loc prin intermediul ficatului care deţine principala funcţie glucostatică a organismului.

Acţiunea regulatoare a sistemului nervos se manifestă prin trimiterea de mesaje atît ficatului, cît şi glandelor care acţionează asupra ficatului, pentru a determina intrarea lor în acţiune. Dar mecanismul glucostatic funcţionează şi prin acţiunea directă a factorului reglat (glucoza) asupra glandelor menţionate, ceea ce face ca rolul sistemului nervos să nu fie decisiv.

În fig. 3.29 este reprezentată schema bloc simplificată a sistemului de reglaj automat a glucozei sangvine[1]. După cum se observă, există mai multe bucle de reacţie care acţionează simultan pentru a menţine glicemia (obiectul reglat) în limitele normale. Abaterile de la valoarea normală se datoresc perturbaţiilor externe, reprezentate aici de ingerarea unei cantităţi prea mari sau prea mici de dulciuri sau de efectuarea unui efort muscular sau nervos excesiv.

Informaţia asupra nivelului glucozei din sînge se transmite atît printr-o cale de reacţie directă, cît şi prin intermediul sistemului nervos. Cercetări recente au pus în evidenţă interdependenţa strînsă dintre sistemul nervos şi cel endocrin, mergînd pînă la existenţa unor neurohormoni, majoritatea de origină hipotalamică[2].

O primă buclă de reacţie se închide prin cele patru pull-uri metabolice şi mai ales prin intermediul ficatului, a cărui funcţie glucostatică se manifestă în două moduri principale:

---

[1] M. Beliş, M. Coculescu, *Model de sistem de reglaj neurohormonal*, Comunicare la sesiunea de „Biotehnologie" a Institutului Politehnic Bucureşti, noiembrie 1978.

[2] P. H. Williams (ed), *Textobook of Endocrinology*, Saunder Company, U.S.A., 1974.

Scanned with OKEN Scanner

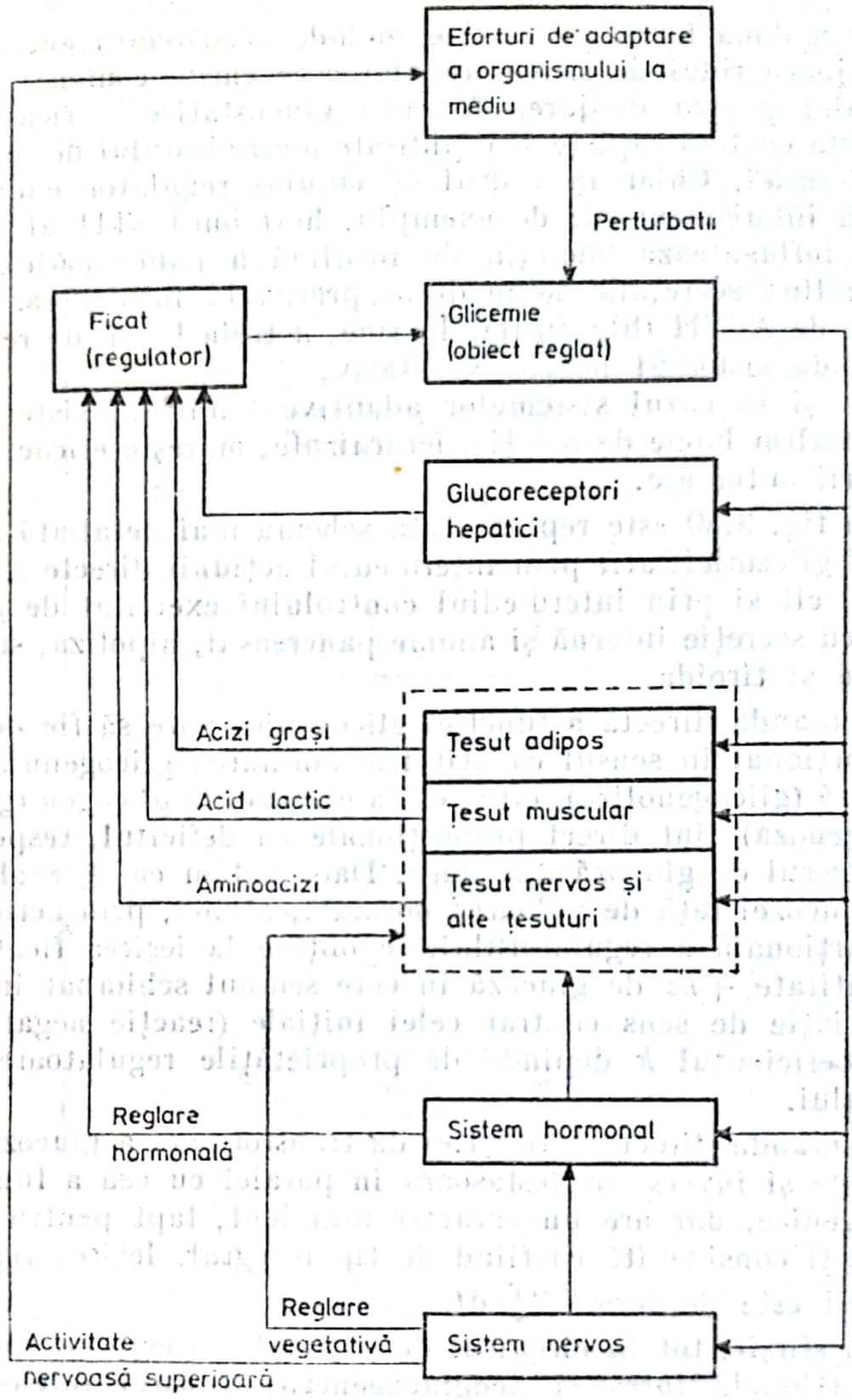


Fig. 3.29

1) o funcție *tampon* de preluare a excesului de glucoză și depozitare sub formă de glicogen și eventual de grăsimi și de transformare a acestora din nou în glucoză în caz de nevoie; 2) o funcție generatoare de glucoză (neoglucogeneza).

Scanned with OKEN Scanner

O a doua buclă de reacţie include şi sistemul endocrin, care joacă rolul de sistem regulator ce emite comenzi (hormonale) pentru dirijarea funcţiei glucostatice a ficatului. Aceasta conferă supleţe şi rapiditate mecanismului de reglare a glicemiei. Chiar în cadrul sistemului regulator endocrin există interconexiuni; de exemplu, hormonul STH al hipofizei influenţează secreţia de insulină a pancreasului, iar adrenalina secretată de medulosuprarenală influenţează secreţia de ACTH (hipofizat). În fine, a treia buclă de reacţie cuprinde sistemul nervos vegetativ.

Ca şi în cazul sistemelor adaptive tehnice, existenţa a mai multor bucle de reacţie, ierarhizate, măreşte eficacitatea reglării automate.

În fig. 3.30 este reprezentată schema mai detaliată a reglării glicemiei, atît prin intermediul acţiunii directe a ficatului, cît şi prin intermediul controlului exercitat de glandele cu secreţie internă şi anume pancreasul, hipofiza, suprarenala şi tiroida.

Comanda directă a funcţiei glicogenice pare să fie de tip proporţional în sensul că atît transformarea glicogenului în glucoză (glicogenoliza), cît şi cea a glucozei în glicogen (glicogenogenoza) sînt direct proporţionale cu deficitul, respectiv cu excesul de glucoză din sînge. Dacă notăm cu $\pm \varepsilon$ abaterea glucozei faţă de valoarea normală, atunci, prin acţiunea proporţională a regulatorului, se obţine la ieşirea ficatului o cantitate $\mp k\varepsilon$ de glucoză în care semnul schimbat indică o variaţie de sens contrar celei iniţiale (reacţie negativă), iar coeficientul k depinde de proprietăţile regulatoare ale ficatului.

Comanda directă a funcţiei de transformare a glucozei în grăsime şi invers, se desfăşoară în paralel cu cea a funcţiei glicogenice, dar are un caracter mai lent, fapt pentru care poate fi considerată ca fiind de tip integral. Ieşirea regulatorului este de forma $k\int \varepsilon \, dt$.

În sfîrşit, tot în circuitul de comandă directă cu acţiune proporţională intră şi neoglucogeneza, a cărei intensitate este reglată aci direct de nivelul glicemiei.

În ceea ce priveşte controlul exercitat de către glandele cu secreţie internă asupa ficatului, acesta este, în general, de tip diferenţial, determinînd un semnal de comandă proporţional cu derivata erorii: $k\frac{d\varepsilon}{dt}$.

Scanned with OKEN Scanner

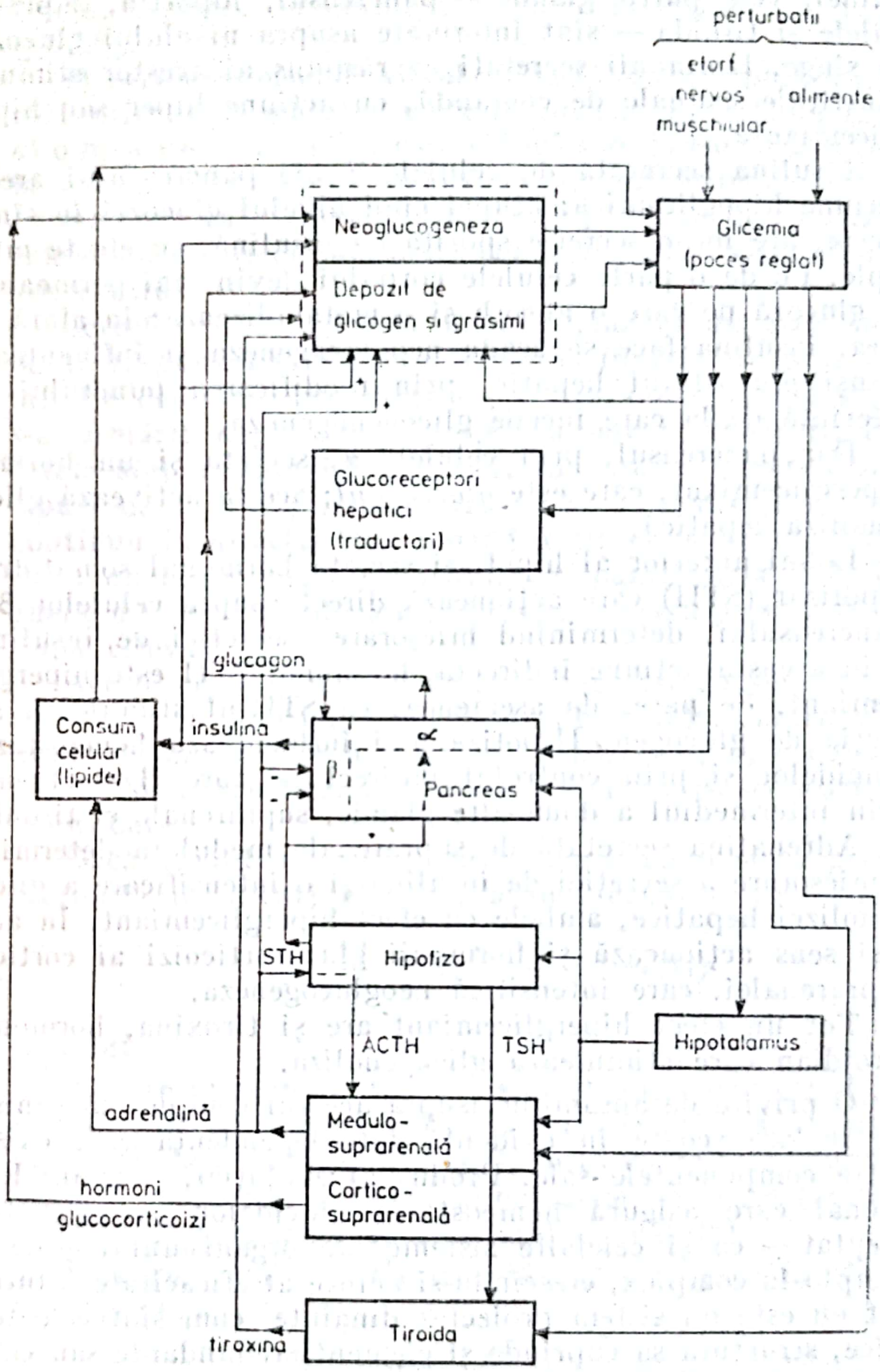


Fig. 3.30

Scanned with OKEN Scanner

Prin circuitele informaţionale nervoase sau directe (sanguine), cele patru glande — pancreasul, hipofiza, suprarenalele şi tiroida — sînt informate asupra nivelului glucozei în sînge. Hormonii secretaţi ca răspuns ai acestor stimuli, constituie semnale de comandă, cu acţiune hiper sau hipoglicemiantă.

Insulina secretată de celulele β ale pancreasului are o acţiune hipoglicemică; atunci cînd nivelul glucozei în sînge creşte, are loc o secreţie sporită de insulină, cu efecte multiple. Pe de o parte celulele corpului devin mai permeabile la glucoză pe care o absorb şi o metabolizează; în afară de asta, insulina face să scadă neoglucogeneza şi influenţează însuşi glucostatul hepatic, prin modificarea punctului de referinţă de la care începe glicogenogenoza.

Dar pancreasul, prin celulele α, secretă şi un hormon hiperglicemiant, care este *glucagonul*; acesta activează glicogenoliza hepatică.

Lobul anterior al hipofizei secretă hormonul somatotrop hipofizar (STH) care acţionează direct asupra celulelor β a pancreasului, determinînd micşorarea secreţiei de insulină. Prin această acţiune indirectă, hormonul STH este hiperglicemiant. Se pare, de asemenea, că STH-ul stimulează secreţia de glucogen. Hipofiza mai influenţează homeostazia glucidelor şi prin controlul indirect pe care îl efectuează prin intermediul a două alte glande, suprarenale şi tiroida.

Adrenalina secretată de suprarenala medulară determină o micşorare a secreţiei de insulină şi o intensificare a glicogenolizei hepatice, ambele cu efect hiperglicemiant. În acelaşi sens acţionează şi hormonii glucocorticoizi ai corticosuprarenalei, care intensifică neoglucogeneza.

Tot un efect hiperglicemiant are şi tiroxina, hormonul tiroidian care stimulează glicogenoliza.

O privire de ansamblu asupra acestui complex mecanism de reglare scoate în evidenţă interdependenţa care există între componentele sale. Produs al evoluţiei, sistemul hormonal care asigură homeostazia glucidelor s-a dezvoltat treptat — ca şi celelalte sisteme ale organismului — de la simplu la complex, crescîndu-şi neîncetat eficacitatea. Întrucît nu este un sistem proiectat dinainte, cum sînt cele tehnice, structura sa cuprinde şi elemente redundante sau chiar antagoniste. Dar aceasta conferă siguranţă în funcţionare, respectiv supleţe, sistemului în ansamblu. Astfel, defectarea unui element poate fi suplinită de altele, cu funcţiuni simi-

Scanned with OKEN Scanner

lare, iar prin jocul efectelor antagoniste se obţine precizie şi fineţe, reglarea nivelului glucidelor făcîndu-se în limitele $\pm 0{,}2\%$.

b) **Servomecanismul vizual.** Există două tipuri de mişcări prin care ochiul urmăreşte poziţia unei ţinte mobile: *a*) o mişcare sacadată în care ochiul sare brusc de la o poziţie la alta şi *b*) o mişcare continuă, de urmărire a deplasării. În majoritatea cazurilor, urmărirea ţintei se face combinînd cele două tipuri de mişcări, prin intermediul sistemului nervos central.

Cercetări moderne[1] (sau interdisciplinare) au scos în evidenţă răspunsul sistemului ocular la funcţia treaptă. Imprimînd o deplasare bruscă ţintei (între două poziţii stabile), s-a urmărit deplasarea corespunzătoare a ochiului. Rezultatele sînt arătate în fig. 3.31, în care se observă diferite tipuri de mişcări; în cazurile *a*, *b*, *c*, ochiul s-a deplasat continuu în direcţia noii poziţii a ţintei pe care a atins-o după un timp variabil (întîrzieri şi pante variabile); în cazurile *d* şi *e* ochiul depăşeşte poziţia corectă pe care o atinge după cîteva oscilaţii.

Aceste curbe amintesc de răspunsul unui sistem mecanic sub acţiunea unei forţe sub formă de impuls, pentru diverse grade de amortizare a mişcării. Cazurile *a*, *b*, *c* corespund mişcărilor aperiodice, iar cazurile *d* şi *e* mişcării oscilatorii amortizate.

Dacă globul ocular se aproximează cu o sferă perfectă, susţinută de arcuri elastice, atunci ecuaţia mişcării este:

$$A_2 \frac{d^2\theta}{dt^2} + A_1 \frac{d\theta}{dt} + A_0\theta = f(t)$$

în care:

A_2 este momentul de inerţie a globului ocular; A_1, coeficientul de amortizare (vîscoasă) a mişcării; A_0, constanta de elasticitate a muşchilor; $f(t)$, forţa exercitată asupra sistemului (comanda dată de impulsurile nervoase trimise de creier), iar θ, poziţia (unghiulară) a ochiului.

În cazul unei funcţii treaptă, $f(t)=ct$ ecuaţia de mai sus devine:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2\,a\omega_n \frac{d\theta}{dt} + \omega_n^2\theta = K$$

[1] U. T. Milhorn, *op. cit.*

Scanned with OKEN Scanner

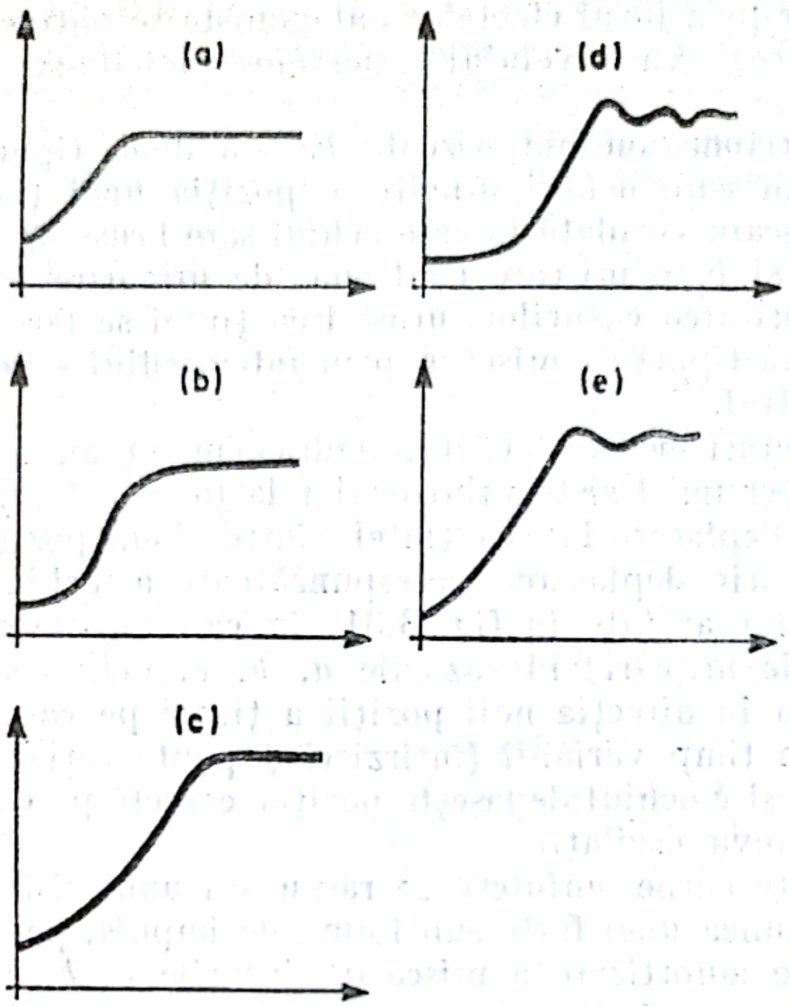


Fig. 3.31

în care:

$\omega_n = A_0/A_2$ este frecvența proprie de oscilație a sistemului;

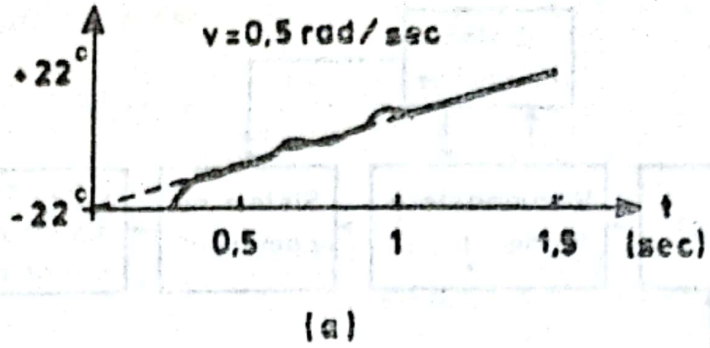
$a = A_1/2\sqrt{A_0 A_2}$ este constanta de amortizare a sistemului;

K o constantă ce depinde de comanda de intrare.

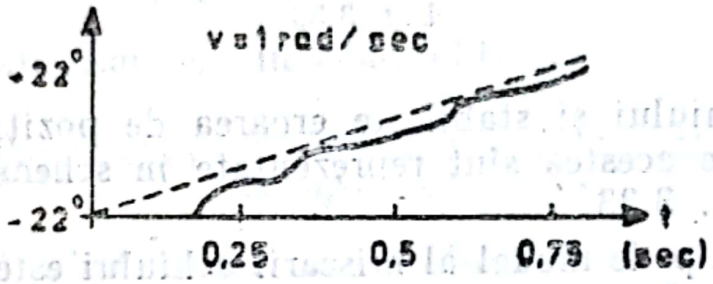
Westheimer[1] a stabilit valorile $a=0{,}7$ și $\omega_n=120$ radiani/secundă. Modelul de mai sus corespunde unui sistem de reglaj în circuit deschis (fig. 3.20 *a*).

Dacă ținta se deplasează în mod continuu, ochiul urmărește deplasarea, apropiindu-se din ce în ce mai mult de poziția corectă și aceasta cu atît mai repede cu cît viteza mobilului este mai mică. În fig. 3.32 s-a reprezentat această *urmărire* pentru diverse viteze ale țintei: 0,5 rad/sec(*a*), 1

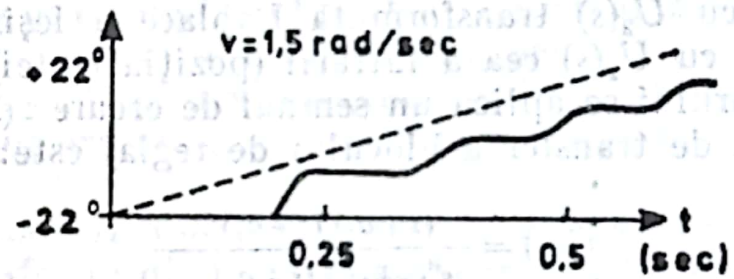
[1] G. Westhelmer, *A note on the response characteristic of the extraocular muscle system*, în *Bulletin of Mathematical Biophystcs*, nr. 20, 1958.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3.32

rad/sec (*b*) şi 1,5 rad/sec (*c*). Se observă că în cazul (*c*) ochiul execută o serie de mişcări sacadate pentru a urmări ţinta, nereuşind să ajungă în poziţia corectă datorită mişcării prea rapide a ţintei.

Operaţiile care au loc pentru efectuarea urmăririi sînt: detectarea poziţiei ţintei şi recunoaşterea deplasării ei în cadrul unui ansamblu de obiecte (fixe sau mobile); luarea unei decizii (la nivelul sistemului nervos central) în ceea ce priveşte comanda muşchilor oculari; în sfîrşit, o cale de reacţie prin care sistemul nervos central este informat asupra

Scanned with OKEN Scanner

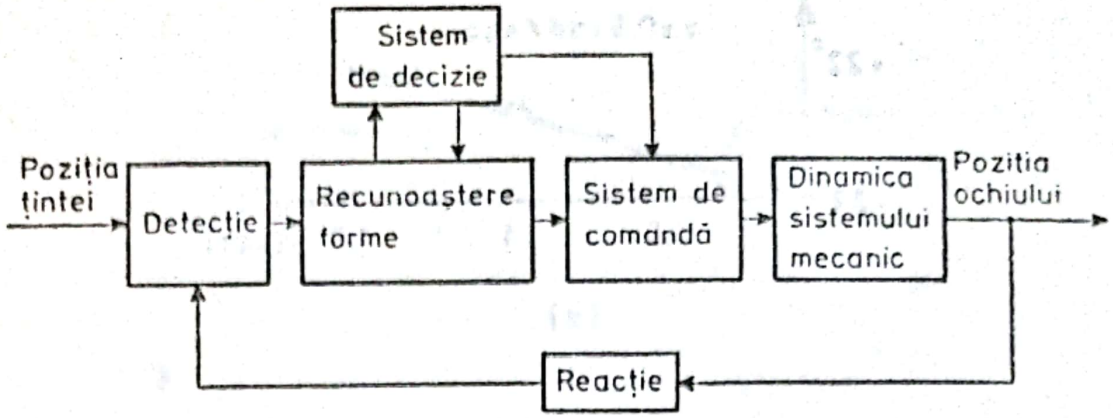


Fig. 3.33

poziției ochiului și stabilește eroarea de poziție relativ la țintă. Toate acestea sînt reprezentate în schema de principiu din fig. 3.33.

Un alt tip de model al mișcării ochiului este reprezentat în fig. 3.34. Existența mai multor bucle de reacție, ierarhizate, ne arată că este vorba de un sistem *adaptiv*, în care caracteristicile blocului de reglaj G sînt schimbate de către blocul A, în funcție de informația primită la intrare.

Notăm cu $U_2(s)$ transformata Laplace a ieșirii (poziția ochiului) și cu $U_1(s)$ cea a intrării (poziția țintei); la intrarea regulatorului se aplică un semnal de eroare $\varepsilon(s)$. În acest caz, funcția de transfer a blocului de reglaj este:

$$G(s)=\frac{(s+a_1)\,(s+a_2)\,\ldots}{s^n(s+a_3)\,(s+a_4)\,\ldots}$$

în care a_1, a_2 etc. sînt zerourile sistemului cu buclă deschisă și a_3, a_4 etc. sînt polii aceluiași sistem.

Poziția ochiului este dată de relația

$$U_2(s)=G(s)\cdot\varepsilon(s),$$

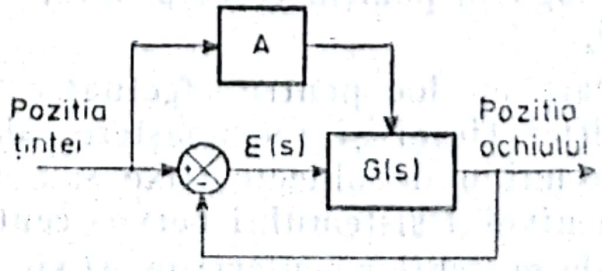


Fig. 3.34

Scanned with OKEN Scanner

și înlocuind pe $G(s)$ cu expresia de mai sus, avem:

$$U_2(s) = \frac{(s+a_1)(s+a_2)\dots}{s^n(s+a_3)(s+a_4)\dots}\varepsilon(s)$$

sau

$$s^n U_2(s) = \frac{(s+a_1)(s+a_2)\dots}{(s+a_3)(s+a_4)\dots}\varepsilon(s)$$

Aplicînd teorema valorii finale:

$$\lim_{t\to\infty} u_2(t) = \lim_{s\to 0} sU_2(s)$$

și transformata Laplace inversă, obținem:

$$\left(\frac{d^n}{dt^n}\right) u_2(t) = \lim s \frac{(s+a_1)(s+a_2)\dots}{(s+a_3)(s+a_4)\dots} \cdot \frac{\varepsilon_0}{s} = K_n \varepsilon_0$$

în care $u_2(t)$ cînd $t\to\infty$ este ieșirea sistemului în regim staționar, ε_0 eroarea în regim staționar, n este ordinul sistemului (numărul de poli în origină).

Întrucît experimental se constată că eroarea de urmărire variază cu viteza țintei, înseamnă că sistemul se comportă ca un sistem de ordinul $n=1$ pentru viteze mai mari de 1,5 rad/sec, și ca un sistem de ordinul $n\geqslant 2$ pentru viteze mai mici de 0,5 rad/sec. Pentru viteze intermediare ($0{,}5<v<1{,}5$ rad/sec), sistemul are un grad variabil, ce depinde de individ și de timp.

Rolul blocului *A* constă tocmai în a modifica forma funcției de transfer (ordinul sistemului) în funcție de viteza mobilului urmărit.

c) **Sistemul de control al deschiderii pupilare.** În afară de mișcarea globului ocular în orbită în timpul urmăririi unui obiect mobil, care s-a analizat în paragraful precedent, mecanismele de reglaj ale ochiului trebuie să asigure:

— focalizarea imaginii unui obiect fix sau mobil, pe retină; aceasta se realizează, la mamifere, prin modificarea convexității lentilei cu ajutorul mușchilor ciliari iar la unii pești prin deplasarea lentilei față de retină;

— reglajul cantității de lumină care cade pe retină precum și variația profunzimii cîmpului de focalizare, obiective realizate prin sistemul de control al deschiderii pupilei[1].

---

[1] J. H. Milsum, *Biological Control and System Analysis*, Mc Graw Hill, New York, 1966.

Scanned with OKEN Scanner

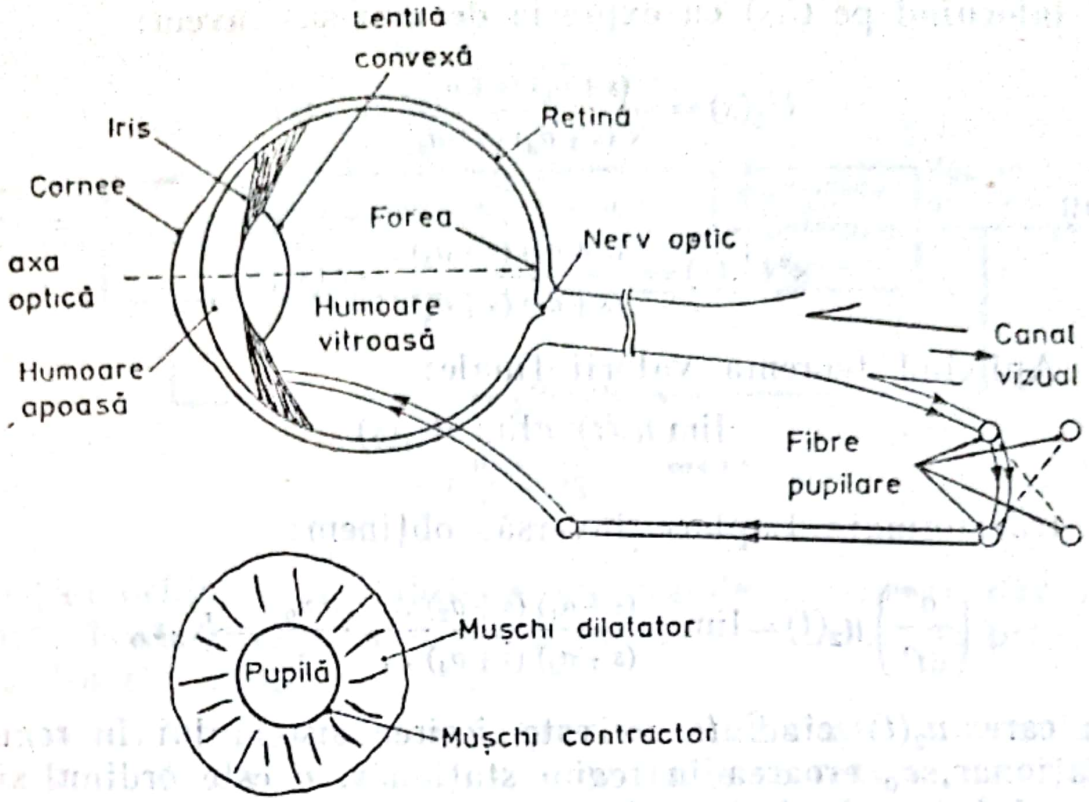


Fig. 3.35

În fig. 3.35 sînt reprezentate părţile principale ale ochiului la mamifere.

Schema bloc a funcţionării mecanismului de reglaj a luminozităţii şi profunzimii este dată în fig. 3.36, în care: Φ este fluxul luminos ce cade pe retină şi a cărui valoare optimală s-a notat cu Φ_0, s este suprafaţa pupilei, I este intensitatea luminii ambiante.

Se ştie că fibrele pupilare au proprietatea de a genera impulsuri electrice a căror frecvenţă (f_p) depinde de fluxul retinian (Φ); dependenţa este, într-o primă aproximaţie, liniară

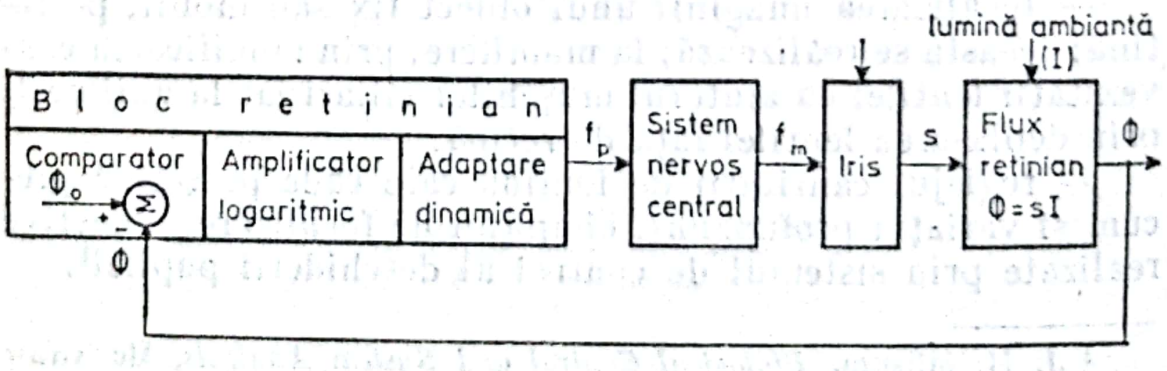


Fig. 3.36

Scanned with OKEN Scanner

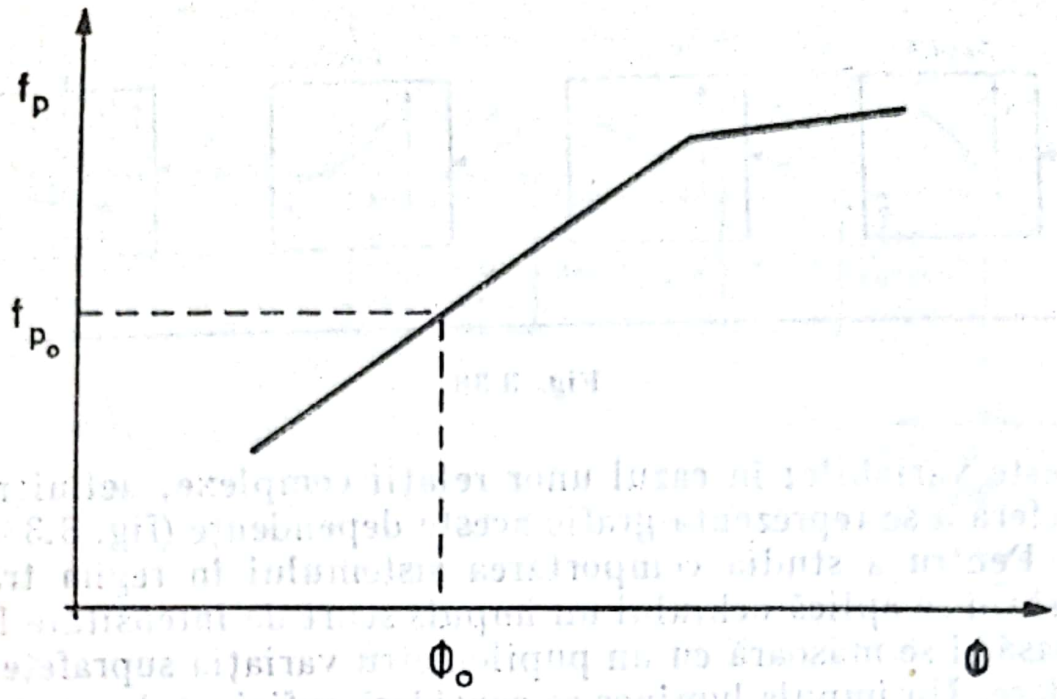


Fig. 3.37

(fig. 3.37); $\Delta f_p = k(\Phi - \Phi_0)$, în care Δf_p reprezintă variaţia frecvenţei impulsurilor faţă de valoarea f_{po}, corespunzătoare unui flux optim, iar k este o constantă de proporţionalitate.

Pe de altă parte, conform legii Weber-Fechner, sensibilitatea retinei faţă de excitaţia luminoasă ascultă de o lege logaritmică: $S = S_0 - k_1 \cdot \log I$, în care prin S s-a notat sensibilitatea retiniană, iar S_0 sensibilitatea maximă.

În fine, adaptarea suprafeţei pupilare la o variaţie bruscă de lumină necesită un anumit timp la trecerea de la întuneric la lumină şi mai mare în sens invers.

Toate aceste operaţii sînt modelate prin funcţiile blocului retinian, care cuprinde comparatorul ce generează impulsurile de frecvenţă f_p, amplificatorul logaritmic ce reglează sensibilitatea şi sistemul de adaptare dinamică.

Mai departe, sistemul nervos central (*SNC*) transmite aceste informaţii muşchiului de contracţie al irisului, prin intermediul unor impulsuri de frecvenţă f_m. Aceste impulsuri se transmit la motoneuronii sfincterului irisului şi determină o anumită suprafaţă (s) de deschidere a pupilei.

Pentru o înţelegere mai completă a funcţionării acestui sistem, ar trebui scrise relaţiile care leagă între ele toate

Scanned with OKEN Scanner

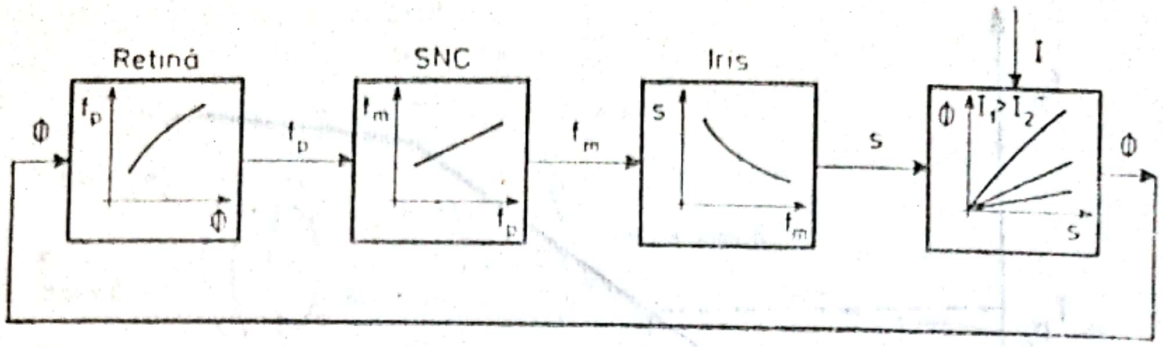


Fig. 3.38

aceste variabile; în cazul unor relaţii complexe, neliniare, se preferă a se reprezenta grafic aceste dependenţe (fig. 3.38).

Pentru a studia comportarea sistemului în regim tranzitoriu, i se aplică ochiului un impuls scurt de intensitate luminoasă şi se măsoară cu un pupilometru variaţia suprafeţei pupilare. Un impuls luminos se consideră suficient de scurt dacă pe durata sa nu apare nici o modificare a suprafeţei pupilare.

Tehnici medicale avansate au permis tăierea buclei de reacţie pentru a măsura cîştigul şi stabilitatea reţelei (fig. 3.39).

Bucla a fost închisă artificial prin intermediul unui pupilometru, unei reţele electrice cu parametri ajustabili şi unei surse de lumină (fig. 3.40). Variind parametrii reţelei

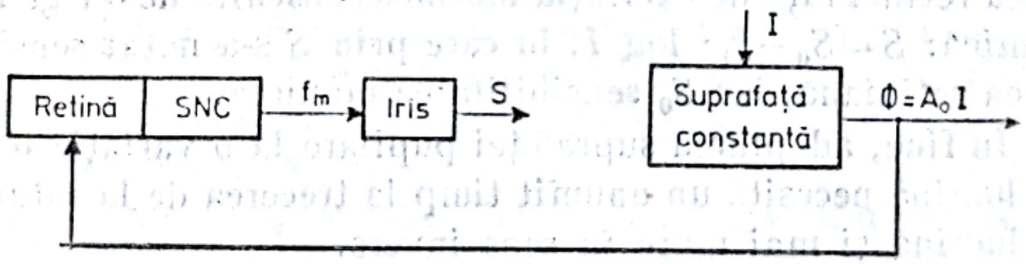


Fig. 3.39

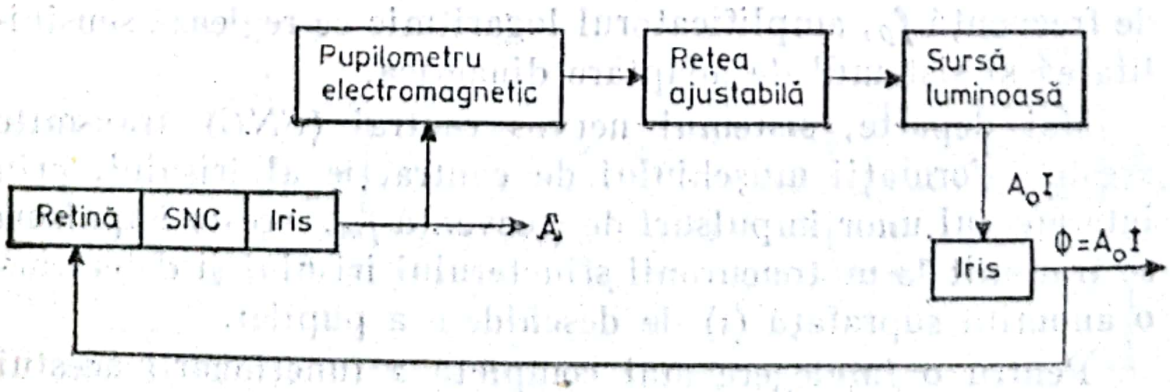


Fig. 3.40

Scanned with OKEN Scanner

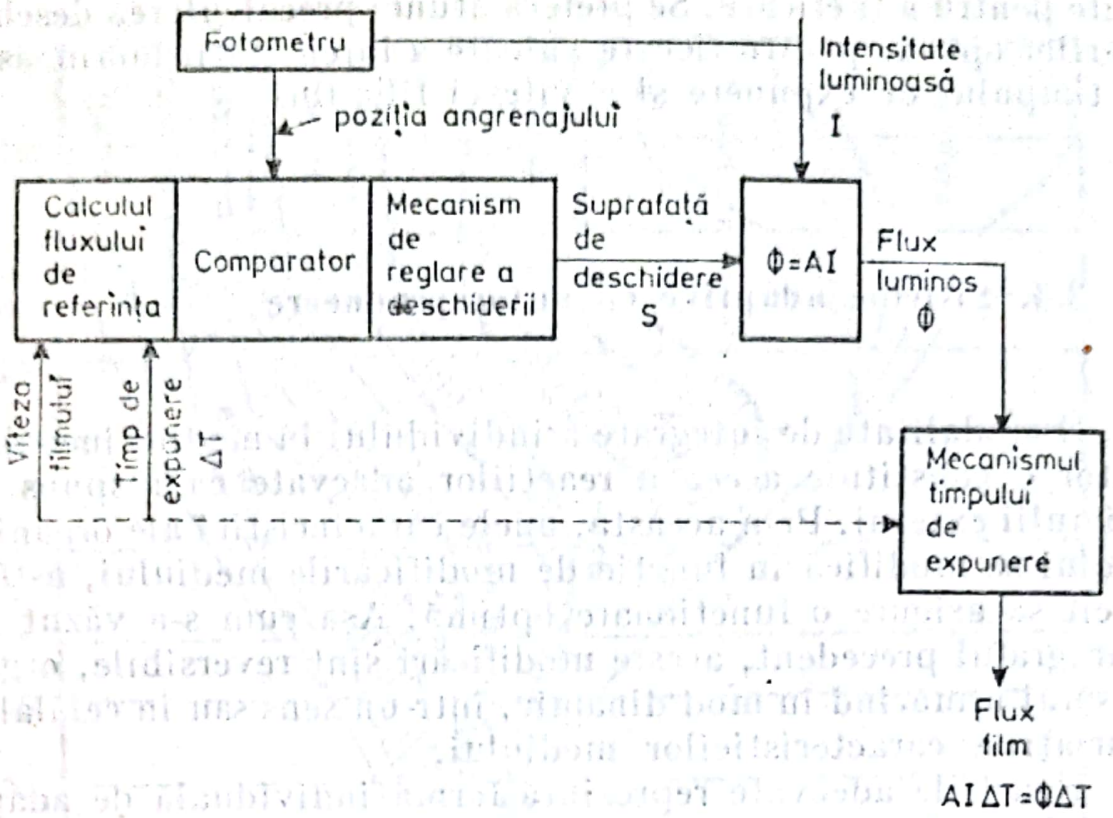


Fig. 3.41

(dispozitive electrice ce simulează parametrii biologici), s-au obținut oscilațiile pupilei, ceea ce a confirmat valabilitatea schemei și a permis determinarea parametrilor biologici.

O aplicație a sistemului de reglare descris mai sus constituie *controlul automat al deschiderii obiectivului în aparatele de fotografiat.*

După cum se știe, focalizarea în aparatele de fotografiat se obține prin deplasarea lentilei în raport cu obiectivul (soluția utilizată de pești este mai simplă decît aceea utilizată de mamifere).

Pentru reglarea automată a deschiderii, precum și a timpului de deschidere, se utilizează schema bloc din fig. 3.41, inspirată în mare parte din aceea a funcționării sistemelor biologice. Diferența esențială constă în absența buclei de reacție. Sistemul este cu circuit deschis. În funcție de valorile celor două variabile controlate de operatorul uman rezultă un flux de referință optimal care trebuie să cadă pe film. Un sistem cu buclă închisă ar fi trebuit să preia acest flux și să-l facă să comande deschiderea diafragmei. Dar cum acest flux nu este disponibil decît o fracțiune de secundă (durata expunerii), sistemul ar trebui să aibă performanțe dinamice ridi-

Scanned with OKEN Scanner

cate pentru a fi eficace. Se preferă atunci precalcularea deschiderilor optime pentru fiecare valoare a intensității luminoase, a timpului de expunere și a vitezei filmului.

3.4. Sisteme adaptive cu autoreproducere

O modalitate de integrare a individului în mediul înconjurător o constituie aceea a reacțiilor adecvate ca răspuns la stimulii externi. Prin aceasta, unele caracteristici ale organismului se modifică în funcție de modificările mediului, astfel încît să asigure o funcționare optimă. Așa cum s-a văzut în paragraful precedent, aceste modificări sînt reversibile, organismul urmărind în mod dinamic, într-un sens sau în celălalt, variațiile caracteristicilor mediului.

Reacțiile adecvate reprezintă forma individuală de adaptare la mediu; ele se bazează pe utilizarea informației recepționate din mediu pentru comanda stărilor interne, procesul efectuîndu-se în circuitul de reglaj cu buclă închisă format din individ și mediul înconjurător (fig. 3.42). După cum s-a văzut, acest principiu este larg utilizat în tehnică, în cadrul sistemelor adaptive de reglaj automat.

În structura ierarhică a sistemelor biologice, organismele individuale sînt elementele constitutive ale unui sistem de ordin superior, specia. La nivelul speciei problema adaptării a găsit noi soluții, de eficacitate sporită.

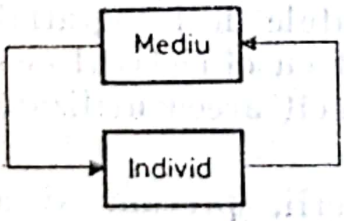


Fig. 3.42

În continuare, va fi descris procesul transformării informației în organizare structurală prin adaptare filogenetic precum și încercările de modelare a acestui proces.

3.4.1. *Adaptarea filogenetică*

Mecanismul prin care organismele vii descind unele din altele (filogeneza) a fost o problemă multă vreme controversată și a cărei elucidare nu poate fi nici astăzi considerată ca încheiată.

Scanned with OKEN Scanner

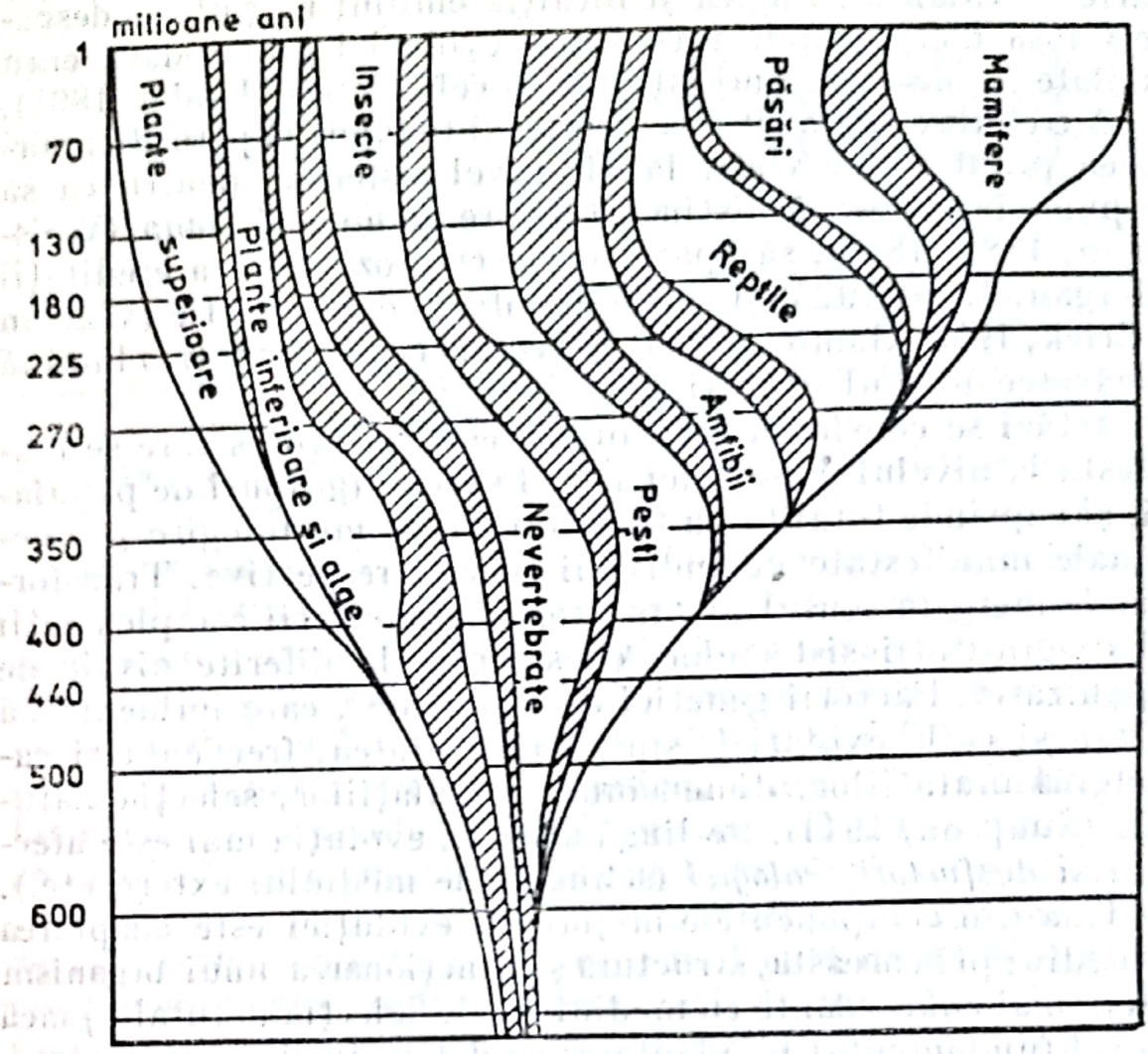


Fig. 3.43

Dacă urmărim dezvoltarea organismelor vii de-a lungul erelor geologice, așa-numitul arbore al vieții[1] (fig. 3.43), constatăm o diversificare progresivă, dublată de o complexificare, atît în regnul vegetal, cît și mai ales în cel animal. Constanta mare de timp cu care se desfășoară procesele la nivelul speciei (mare față de durata de existență a indivizilor componenți) a îngreunat studiul acestor procese *pe viu*, iar diversitatea soluțiilor funcționale observabile în lumea viului, a sfidat găsirea unei direcții privilegiate a transformărilor evolutive.

Mult timp investigațiile s-au bazat pe observarea caracterelor morfofuncționale ale organismelor (vii sau fosilizate), ceea ce a dus la formularea cîtorva ipoteze evoluționiste, dintre care cea datorată lui Darwin (1859) a rămas și azi — în bună

[1] J. Z. Young și T. Margerison, *From molecule to man, the exploston of science*, Crown Publ. New York, 1969.

Scanned with OKEN Scanner

parte — valabilă. Logica și intuiția omului nu puteau descoperi însă mecanismele intime ale evoluției (chiar dacă erau dublate de observații minuțioase ca cele ale lui Mendel, 1865).

A trebuit ca dezvoltarea științei și tehnicii să permită abordarea problemelor vieții la alt nivel sistemic, pentru ca să se pună în evidență distincția dintre germen și soma (Weismann, 1885, 1893), să apară teoria cromozomială a eredității (Morgan, 1919, 1926) și să fie descifrat codul genetic (Watson și Crick, 1953, Gamow, 1954), cercetări ce au pus într-o lumină nouă mecanismul evoluției.

Astăzi se consideră că evoluția este un proces care se manifestă la nivelul populației sau al speciei (grupuri de populații) și cuprinde totalitatea transformărilor morfologice și funcționale manifestate de indivizii speciei respective. Transformările merg în sensul diversificării, al creșterii complexității și integralității sistemelor, considerate la diferite nivele de organizare[1]. Factorii genetici de evoluție[2,3], care influențează viteza și căile evoluției, sînt variabilitatea, frecvența și caracterul mutațiilor, dimensiunea populațiilor, selecția naturală (Simpson, 1944). Pe lîngă aceștia, evoluția mai este afectată și de *factori ecologici* (schimbările mediului extern etc.).

Una din componentele majore ale evoluției este adaptarea la mediu; prin aceasta, structura și funcționarea unui organism devin mai concordante cu mediul vital. Selecția naturală joacă un rol fundamental în adaptare; ea determină schimbarea statistică a structurii populaționale prin conservarea mutațiilor favorabile și schimbarea frecvenței genotipurilor. Să analizăm acest proces mai în detaliu și să încercăm să interpretăm mecanismul adaptării prin conceptele teoriei informației și a sistemelor de reglaj.

În reînnoirea neîncetată a indivizilor unei specii se observă o stabilitate remarcabilă a anumitor caractere, precum și variații — mai mult sau mai puțin întîmplătoare — ale altora. Studiul *eredității* a căutat să pună în lumină ce anume asigură stabilitatea și ce anume determină variațiile.

În mecanismul transmisiei ereditare se pot distinge două etape diferite: aceea a transmisiei informației de la nucleul

---

[1] N. Botnariuc, *The Wholeness of Living Systems and Some Basic Biological Problems*, în *General Systems*, vol. XI, 1966, U.S.A.

[2] Șt. Milcu, M. Maximilian, *Genetica umană*, Ed. științifică, București, 1966.

[3] P. Raicu ș.a., *Mutațiile și evoluția*, Ed. enciclopedică, București, 1974.

Scanned with OKEN Scanner

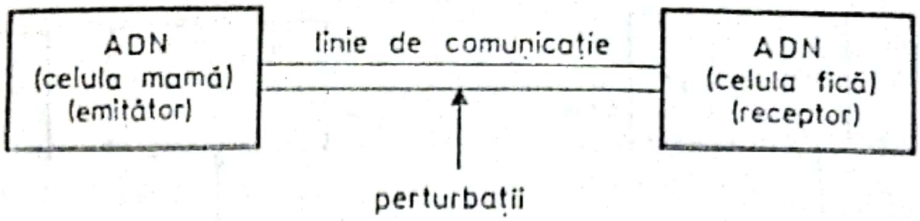


Fig. 3.44

celulei mamă la nucleul celulei fiice în timpul mitozei, și aceea a transmisiei informației de la nucleu la corpul celulei fiice, pentru structurarea individului. Fiecare din aceste etape implică elemente și coduri specifice[1].

În prima etapă, referindu-ne la schema de principiu din figura 3.44 rolul emițătorului pare a fi deținut de către cromozomii din nucleul celulei mamă și, mai exact, de moleculele de acid dezoxiribonucleic (ADN). Sursa emițătoare dispune de un alfabet cu 4 simboluri (sau litere), AGCT, corespunzînd celor patru baze, adenina, guanina, citozina și timina, care fac parte din molecula de ADN. În acest alfabet cu patru litere se exprimă toate „mesajele" privind caracteristicile viitorului individ. Dacă se ține seama că un nucleu poate conține cîteva zeci de cromozomi diferiți și că o moleculă de ADN dintr-un cromozom poate conține cîteva zeci de mii de nucleotide, atunci cantitatea de informație ce poate fi înmagazinată de cromozomi apare a fi de ordinul a $\log_2 4^{100\,000} = 200\,000$ biți. Această capacitate informațională uriașă explică varietatea și finețea caracterelor ce pot fi transmise ereditar ($4^{100\,000}$ variante posibile).

La cealaltă extremitate a liniei, rolul receptorului este deținut de către cromozomii celulei fiice care au fost obținuți prin copierea și separarea spiralelor duble de molecule de ADN emițătoare. În timpul acestui proces de transmisie pot avea loc perturbații care alterează mesajele. Aceste schimbări bruște ale caracterelor ereditare, cunoscute sub numele de mutații, duc la variații individuale care, prin acțiunea selecției naturale constituie una din componentele active ale evoluției speciei. Este unul din cazurile rare, dacă nu unicul, în care perturbațiile pot juca un rol favorabil.

---

[1] J. Monod, *Le hasard et la nécessité*, Editions du Seuil, Paris, 1970.

Scanned with OKEN Scanner

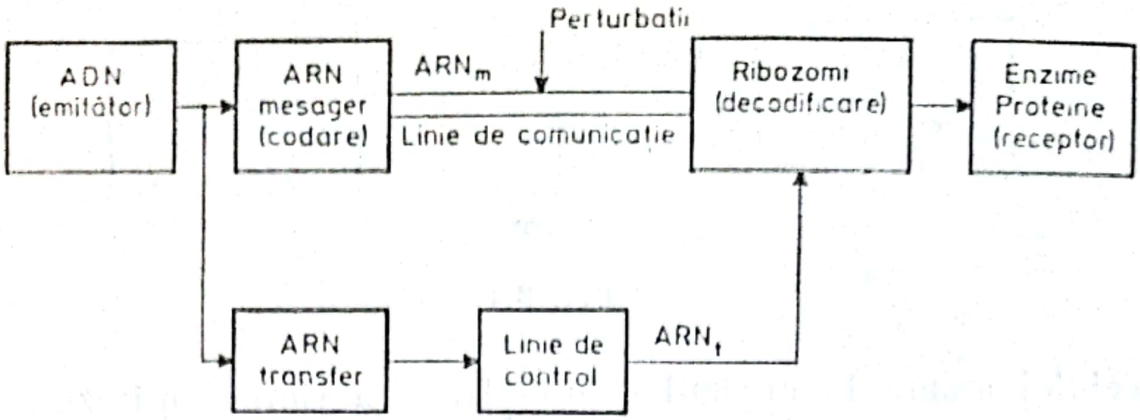


Fig. 3.45

Cea de a doua etapă a transmisiei ereditare, în care informația se transmite de la cromozomi la citoplasma celulei fiice, este schematizată în fig. 3.45.

Emițătorul este format din cromozomi, adică din molecule de ADN din nucleu care dispun de un alfabet cu patru litere (AGCT).

Receptorul este format din enzimele citoplasmei ce utilizează un alfabet cu douăzeci de litere (corespunzător celor douăzeci de aminoacizi diferiți).

Transferul informației de la moleculele de ADN la proteină se efectuează cu ajutorul acidului ribonucleic mesager (ARNm) care joacă rolul semnalului codificat, dispunînd tot de patru simboluri elementare (AGCU). Moleculele de ARNm (purtătoare de informație) se detașează de nucleul celulei și se atașează de ribozomi, aceștia fiind capabili să asigure biosinteza enzimelor și apoi a tuturor proteinelor utile.

Acest transfer de informație este controlat de către moleculele de ARNt (de transfer) care se transmit pe o linie paralelă, de control și care efectuează o „recunoaștere" a aminoacizilor, pentru biosinteza corectă a enzimelor (decodare).

Se observă deci că stabilitatea caracterelor descendenților este asigurată de transmisia corectă a informației ereditare, iar variațiile pot apărea ca urmare a perturbațiilor ce afectează acest proces la nivelul genelor, al cromozomilor sau genomului. Variațiile mai pot apărea și prin *recombinări* ale genelor existente, proces favorizat de înmulțirea sexuată.

Desigur, stabilitatea caracterelor este fundamentală pentru integralitatea speciei, pentru păstrarea elementelor utile, dobîndite în cursul evoluției. Dar, nu mai puțin importantă este posibilitatea apariției unor caractere noi, a modificării unor

Scanned with OKEN Scanner

caractere devenite inutile. Prin aceasta, evoluţia dobîndeşte un caracter ascendent, de la simplu la complex, iar speciile se pot adapta la un mediu variabil.

Problema originii variaţiilor este deosebit de interesantă, iar controversele pe care le-a suscitat arată că ea depăşeşte cadrul unui proces strict biologic, implicînd şi o atitudine filozofică.

Biologia modernă consideră că aceste variaţii sînt pur întîmplătoare: ele sînt produse, aşa cum s-a arătat, fie din erorile de transmisie a mesajului genetic, fie din combinările — aleatoare — ale genelor parentale.

Considerînd mutaţiile ca pur întîmplătoare, mediul îşi exercită acţiunea prin intermediul selecţiei naturale; prin aceasta, organismele care — întîmplător — prezintă mutaţii utile sînt favorizate şi supravieţuiesc în număr mult mai mare decît cele cu mutaţii dăunătoare. După cîteva generaţii, frecvenţa genelor *favorabile* creşte în genofondul populaţiei, determinînd adaptarea speciei la noile condiţii de mediu.

Precizăm că prin *mutantă utilă* se înţelege acea modificare genetică care determină o mai bună adaptare a individului la mediul înconjurător; majoritatea mutaţiilor sînt însă dăunătoare, determinînd schimbări nefavorabile bunei funcţionări a organismului. Utilitatea sau nocivitatea unei mutaţii nu sînt caracteristici absolute, ci se apreciază în raport cu mediul înconjurător. Astfel, se ştie că în prezenţa antibioticelor unele specii de bacterii dau mutanţi rezistenţi. Aceştia există în orice condiţii de mediu, dar caracterul menţionat este indiferent sau chiar nociv; numai în prezenţa antibioticelor caracterul devine favorabil, permiţînd supravieţuirea.

Selecţia exercitată de mediu asupra speciei poate fi reprezentată prin schema generală de funcţionare a sistemelor cu reacţie, la care o parte din informaţia de la ieşirea sistemului este adusă la intrare, pentru a întări sau slăbi răspunsul iniţial[1].

În cazul schemei din fig. 3.46, sistemul cu reacţie este format din populaţia sau specia supusă mecanismului de adaptare filogenetică. Semnalele de ieşire ale acestui sistem sînt reprezentate de indivizii pe care specia îi produce la un moment dat, de exemplu, indivizii unei generaţii. Semnalele de

---

[1] M. Beliş, *The Cybernetics of Evolving Systems*, comunicare la Congresul Internaţional de Cibernetică, Londra, 1969.

Scanned with OKEN Scanner

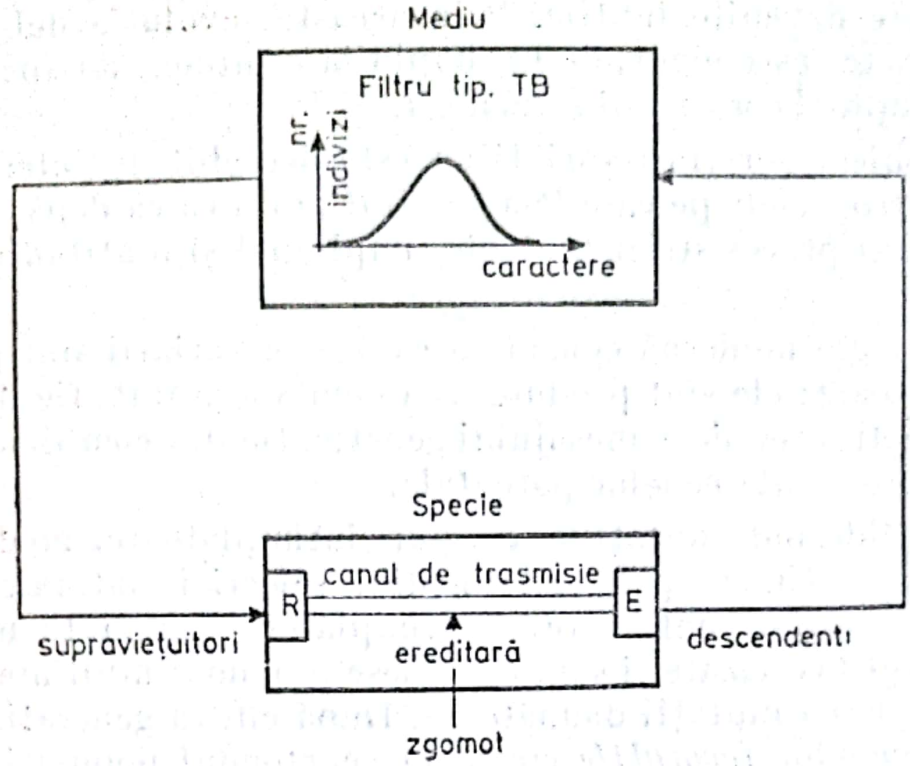


Fig. 3.46

intrare sînt reprezentate de indivizii care după ce au trăit cîtva timp în mediu, contribuie la înmulțirea speciei. Se observă că mediul joacă rolul unui circuit de reacție, ale cărui caracteristici modifică semnalele ce trec prin el. Reacția este pozitivă căci indivizii supraviețuitori contribuie la înmulțirea speciei. Caracteristica de trecere a mediului, adică variația factorului de transfer în funcție de frecvența semnalelor, trebuie să fie de tipul unui filtru „trece bandă" (fig. 3.47 *a*). Acesta lasă să treacă numai semnalele ce se încadrează într-o anumită bandă de frecvențe, Δf, în jurul unei frecvențe centrale f_0 și împiedică total trecerea semnalelor de altă frecvență.

În mod analog, dacă pe abscisă vom pune măsura unui anumit caracter morfologic sau funcțional care variază între anumite limite la reprezentanții unei specii, iar pe ordonată numărul de indivizi care reușesc *să treacă* prin mediu, adică să supraviețuiască, atunci vom constata că aceștia se grupează în jurul unei valori optime a caracterului respectiv care corespunde situației de adaptare a organismului la mediu (fig. 3.47 *b*).

În realitate, caracteristica de trecere a mediului, seamănă mai mult cu aceea a unui filtru real (fig. 3.47 *c*) și nu cu aceea a unui filtru ideal (fig. 3.47 *a*) în sensul că pantele laterale ale caracteristicii nu sînt chiar atît de abrupte. Aceasta face ca

Scanned with OKEN Scanner

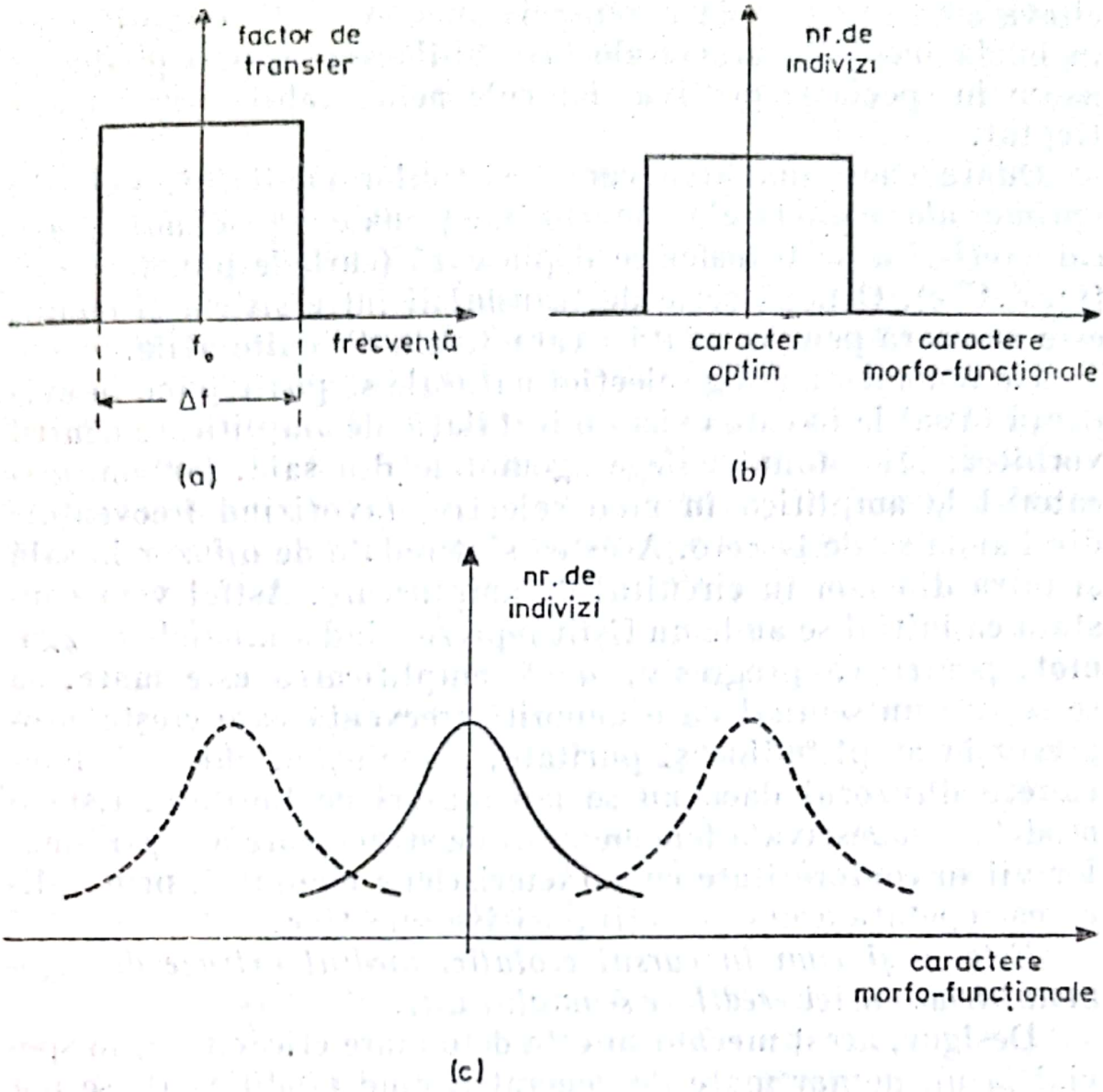


Fig. 3.47 a, b, c

delimitarea *adaptat-neadaptat* să nu fie chiar atît de netă, putînd să supravieţuiască (în număr din ce în ce mai mic) şi organisme a căror caractere morfologice sau funcţionale se îndepărtează de valorile optime.

De asemenea, trebuie de ţinut seama de faptul că acţiunea filtrantă a mediului se exercită asupra a nenumărate caracteristici individuale şi nu asupra uneia singure; ca urmare, gradul de adaptare a fiecărui individ este o rezultantă a tuturor acestor influenţe. Indivizii cei mai bine adaptaţi sînt cei la care majoritatea caracterelor se găsesc în apropierea valorii optime (căreia îi corespunde maximul caracteristicii filtrului). Dintre aceştia se recrutează numărul cel mai mare de supravieţuitori, care prin înmulţire vor întări aceste caractere. După

Scanned with OKEN Scanner

cîteva sute sau mii de parcurgeri succesive ale acestui ciclu în buclă închisă, caracterele favorabile vor deveni predominante în specia respectivă, iar cele nefavorabile vor dispare treptat.

Odată cu schimbarea caracteristicilor mediului, valorile optime ale caracterelor morfo-funcţionale se schimbă, iar caracteristica de transfer se deplasează (curbele punctate din fig. 3.47 *c*). O nouă serie de transmisii între sistem şi mediu este necesară pentru a întări caracterele devenite utile.

Un fenomen analog selecţiei naturale se poate pune în evidenţă în sălile în care există o instalaţie de amplificare pentru vorbitor. Microfonul culege zgomotele din sală, iar amplificatorul le amplifică în mod selectiv, favorizînd frecvenţele din banda sa de trecere. Acestea sînt redate de difuzor în sală şi intră din nou în circuitul de amplificare. Astfel vom constata că iniţial se aude un fîşîit reprezentînd semnalele de zgomot, pentru ca progresiv, dacă amplificarea este mare, să se separe un semnal de o anumită frecvenţă care creşte progresiv în amplitudine şi puritate, ameninţînd chiar să deterioreze difuzorul dacă nu se iau măsuri de limitare. Este o modelare sugestivă a fenomenului de structurare a organismelor vii în conformitate cu caracteristicile mediului, prin aplicarea repetată a unei reacţii pozitive selective.

Este ca şi cum în cursul evoluţiei mediul extrage din zgomotul transmisiei ereditare semnalul util.

Desigur, acest mecanism este de o mare eficacitate, în special la un număr mare de generaţii, cînd modificările se pot acumula şi întări. Aceasta implică timp şi prolificitate, ambele compatibile cu evoluţia organică.

Se poate pune însă întrebarea dacă nu mai există şi alte mecanisme, mai subtile, deci mai greu de pus în evidenţă, prin care mediul îşi pune amprenta asupra caracterelor unei specii. Căci e greu de înţeles cum la modificarea unor condiţii de mediu, organismul, prin simpla influenţă a zgomotului în transmisia ereditară, generează caracterul adaptat acestei modificări. Evident, se poate răspunde că nu-l generează imediat, că mutaţiile au loc în toate direcţiile şi că mediul le selectează pe cele bune. Există încercări „oarbe", neorientate, şi care se dovedesc pînă la urmă utile, cu tot caracterul lor aleatoriu, aşa cum şi zgomotul sălii (în exemplul dat mai sus) conţine, întîmplător, şi frecvenţele din banda de trecere a sistemului de transmisie, care vor fi amplificate progresiv. Dar aici apare prima nepotrivire: mutaţiile, oricît de numeroase ar fi ele,

Scanned with OKEN Scanner

sînt departe de a avea întinderea unui spectru de zgomot (practic infinit). Şi atunci, ce certitudine putem avea că printre ele se află şi cele favorabile ce au şanse de a fi selectate de mediu?

Geneticianul american Winchester compară acţiunea mutaţiilor asupra organismului, cu aceea a unui om care vrea să repare un ceas fără a şti cum funcţionează; el îi adaugă piese şi îl modifică, la întîmplare, pînă cînd, în sfîrşit, reuşeşte. Dar de cele mai multe ori, desigur, va da greş, aşa cum şi mutaţiile de cele mai multe ori sînt defavorabile. Părerea noastră este că exemplul dat serveşte mai degrabă teza contrară, adică a imposibilităţii unor variaţii pur întîmplătoare. Căci probabilitatea ca un om care nu are nici o cunoştinţă asupra funcţionării ceasului, să-l poată repara, prin adăugarea de piese fanteziste sau prin scoaterea unora, este practic nulă, ceea ce echivalează cu imposibilitatea.

Însuşi Darwin, promotorul teoriei selecţiei naturale, înţelesese prea bine dificultăţile unei asemenea ipoteze. Căci, considerînd un organ atît de perfecţionat cum ar fi ochiul, se poate oare concepe ca el să fi provenit din combinarea a nenumărate mutaţii *independente* care iniţial n-au fost decît *erori* în duplicarea genelor? „Ochiul — scria Darwin unui prieten — ochiul n-a încetat pînă astăzi să mă îngheţe de groază".

Dacă mutaţiile independente nu pot duce la formarea organelor complexe sau a cooptaţiunilor (organe făcute prin ajustarea reciprocă a două părţi independente) mai rămîne ipoteza (mai neverosimilă) a mutaţiilor corelate sau simultane.

Iată părerea unui renumit genetician[1] în această privinţă: „Apariţia simultană a mai multor mutaţii genice la un individ n-a fost niciodată observată, după cîte ştiu, şi orice afirmaţie teoretică că aceasta ar constitui un important factor de evoluţie, poate fi îndepărtată. Postulînd o rată a mutaţiilor de 0,00001... probabilitatea ca cinci mutaţii simultane să se producă la un individ ar fi de aproximativ $0{,}00000000000000000001 = 10^{-20}$. Într-o populaţie medie de 100 000 000 de indivizi, cu o durată medie de viaţă de numai o zi pe generaţie, un astfel de eveniment n-ar putea fi aşteptat decît o dată la 274 de miliarde de ani".

Dificultăţi şi mai mari apar atunci cînd luăm în considerare formarea instinctelor. Acestea reprezintă programe de

[1] G. G. Simpson, *L'évolution et sa signification*, Payot, Paris, 1951.

Scanned with OKEN Scanner

funcţionare înscrise în patrimoniul genetic şi transmise ereditar, din generaţie în generaţie. Din multitudinea de exemple, să spicuim cîteva. Opossum-ul are obiceiul ca, în faţa unui duşman mai puternic, să facă pe mortul pînă trece pericolul; leul face gropi pentru a atrage în cursă animalele vrăjmaşe; o familie de păsări din insulele Galapagos se hrăneşte cu larve de insecte, pe care le scoate din găurile copacilor cu ajutorul unui beţigaş ţinut în cioc[1]. Este greu de crezut că toate aceste comportamente au apărut întîmplător. Că o combinaţie întîmplătoare de gene a favorizat, din multitudinea de reacţii pe care le poate avea un animal în faţa primejdiei, aceea de a face pe mortul; sau, mai exact, că mutaţii aleatoare au favorizat în diverse generaţii diverse comportamente, opossum-ul jucînd tot felul de scene în faţa inamicului pînă cînd, în sfîrşit, un mutant norocos a făcut pe mortul, a supravieţuit, şi a fixat astfel această particularitate în comportamentul descendenţilor.

Există azi un număr mare de biologi care se îndoiesc de unicitatea mecanismului variaţiilor întîmplătoare şi se întreabă dacă nu cumva există şi alte căi prin care se realizează adaptarea organismelor la mediu şi complexificarea progresivă a acestora în cursul evoluţiei.

Dobzhanski, unul din geneticienii eminenţi ai zilelor noastre şi partizan al teoriilor ortodoxe ale biologiei moderne, scrie[2]: „Este just să se spună că mutaţiile şi recombinările sînt fenomene care implică o parte de hazard; dar în afară de asta, trebuie să se recunoască selecţiei un rol de anti-hazard. Ea nu constituie doar un ecran pentru mutaţiile şi combinările de gene care se prezintă, pentru a prezerva pe cele relativ apte şi a elimina pe cele relativ inapte; ea acţionează ca un mecanism regulator cu retroacţiune. Solicitările provenind din mediu sînt transmise genelor, *răspunsurile*, care, schimbînd patrimoniul ereditar al organismului, creează noi solicitări, la care vor riposta noi schimbări".

Fără a intra în detaliile acestui mecanism, de altminteri schiţat în mod vag, important este însă că un genetician ca Dobzhanski caută o legătură de alt ordin între organism şi mediu, în afara selecţiei obişnuite.

---

[1] H. Cluny, *Darwin, textes choisis*, Editions sociales, Paris, 1965.
[2] Th. Dobzhanski, *Heredity and the Nature of Man*, Harcourt, Brace and World, New York, 1964.

Scanned with OKEN Scanner

Un alt ilustru reprezentant al biologiei moderne, Jean Rostand[1], după ce explică cu multă convingere mecanismul mutaţiilor aleatorii, conchide astfel: „Cu toate că sîntem de acord că mutaţiile au participat în mare măsură la evoluţia organică, în ceea ce ne priveşte, ezităm încă să explicăm totul prin ele". Şi mai departe: „... se înţelege greu cum accidente independente unele de altele ar fi putut să se înlănţuiască pentru a da naştere unor organe complexe ca ochiul, creierul, urechea".

Problema care se pune este aceea a luării în considerare şi a unor variaţii orientate, în afara celor pur aleatoare. O ipoteză în acest sens a fost emisă de Lamarck în secolul al 19-lea. Marele naturalist a presupus existenţa unui mecanism prin care modificările — structurale şi comportamentale — dobîndite de individ în cursul vieţii, s-ar putea transmite pe cale ereditară, constituind o sursă de variaţii la scara speciei. Această ipoteză, mult discutată, a fost azi îndepărtată, negăsind nici un suport în biologia moleculară.

Experienţe făcute pe musculiţa de oţet (Drosophila m.), pentru a pune în evidenţă acest mecanism, au suferit un eşec. După ce, timp de 40—50 de generaţii Drosophila a fost supusă unei temperaturi ridicate, ceea ce a avut drept efect micşorarea numărului de faţete ale ochilor, atunci cînd s-a revenit la temperatura normală, descendenţii au recăpătat numărul normal de faţete; variaţia individuală nu s-a înscris deci ereditar.

Apărătorii ipotezei lamarckiene au obiectat că numărul de generaţii cu care s-a experimentat a fost prea redus, faţă de cel cu care lucrează evoluţia. La care, geneticienii „ortodocşi" au contraobiectat că dacă efectul ereditar este nul după 40 de generaţii, atunci el va rămîne tot nul, indiferent cu ce număr l-am amplifica.

Obiecţiunea privind numărul prea redus de generaţii ni se pare justă; nu se poate compara durata experienţelor de laborator cu aceea a erelor geologice. Iar în ceea ce priveşte contraobiecţiunea menţionată, ea nu ţine seama că, în fenomenele cumulative cu prag nu se obţine nici o schimbare pe durata acumulărilor, ci numai în momentul cînd se atinge pragul. Or, s-ar putea prea bine ca fenomenele de care ne ocupăm să facă parte din această categorie. În afară de aceasta, trebuie să existe o *necesitate* puternică a organismului în direcţia realizării acelei variaţii, care să contribuie la inte-

[1] Jean Rostand, *L'homme*, Gallimard, Paris, 1961.

Scanned with OKEN Scanner

grarea mai bună a organismului în mediul înconjurător. Variaţia numărului de faţete a ochiului nu pare a intra în această categorie.

Există şi experienţe mai încurajatoare, cum ar fi cele făcute de Sopikov în U.R.S.S. şi Leroy în Franţa, în urma cărora efectuarea transplantului de sînge la păsări a determinat modificarea patrimoniului genetic al descendenţilor. Sîngele fiind un element somatic, influenţa sa asupra genotipului ar dovedi, în sfîrşit, în condiţii de laborator, posibilitatea unor influenţe externe.

În ultimul timp, o atenţie deosebită a suscitat problema acţiunii hormonilor asupra funcţionării celulei[1]. O primă interacţiune ar avea loc la suprafaţa celulei, ducînd la generarea unuia sau mai multor mesageri intracelulari. O a doua acţiune ar consta în pătrunderea în interiorul celulei, combinarea hormonilor cu proteinele receptoare specifice, ceea ce ar duce la transformarea lor structurală; acest complex „hormon-receptor" este transportat în nucleu, unde determină activarea genelor specifice. Iată un canal de comunicaţie posibil spre nucleul celulei.

Căci, astfel de canale de comunicaţie apar cu evidenţă la nivelul organelor sau al organismelor. În afară de exemplele privind formarea organelor complexe, sau a instinctelor, de care s-a mai vorbit, se pot da nenumărate exemple de elemente morfologice simple cum ar fi, de exemplu, formarea calozităţilor (îngroşarea epidermei) pe talpa piciorului la om şi la majoritatea animalelor[2]. O atare particularitate, care apare, evident, prin contactul îndelungat cu solul, este totuşi înscrisă ereditar, fiindcă ea este decelabilă la embrion încă din primele luni de viaţă intrauterină. Darwin şi Lamarck ar explica, desigur, existenţa acestui caracter, înscris genetic, prin utilizarea, timp de milioane de generaţii, a membrelor pentru mers. Mutaţioniştii o atribuie hazardului, care după ce a încercat să plaseze calozităţile în diverse puncte ale corpului a avut în sfîrşit fericita inspiraţie să le situeze acolo unde trebuie, adică la extremitatea membrelor portante.

Astfel de exemple — şi multe altele — au făcut ca autori competenţi[3] să scrie: „Calozităţile carpiene, sternale şi altele, texturile osoase, îndeamnă a crede că ceea ce se dobîndeşte se

---

[1] R. H. Williams (ed), *Textbook of Endocrinology*, Saunder Company, U.S.A., 1974.

[2] Cuénot et Tetry, *L'évolution biologique*, Masson, Paris, 1963.

[3] Aron et Grasset, *Biologie animale*, Masson, Paris, 1960.

Scanned with OKEN Scanner

poate înscrie în patrimoniul ereditar al speciei, dar în condiţii pe care nu ştim să le realizăm, de unde eşecul experienţelor noastre".

Conceptele ciberneticii au dat un nou impuls în direcţia descifrării mecanismelor vieţii. Prin prisma proceselor de reglaj, a sistemelor cu retroacţiune, a transmisiei şi prelucrării informaţiei, au fost abordate şi clarificate numeroase aspecte ale proceselor vitale, care au putut fi şi modelate.

Luarea în considerare a unor variaţii orientate presupune existenţa unui mecanism suplimentar faţă de cel al „filtrării zgomotului". Aşa cum arată N. Botnariuc[1]: „... există o serie întreagă de argumente şi fapte care, pledînd în favoarea posibilităţii transmisiei informaţiei în sens invers — de la proteine la acizi nucleici — pun sub semnul întrebării valabilitatea absolută a *dogmei*". Scoţînd în evidenţă *integralitatea* sistemului celular în îndeplinirea funcţiilor eredităţii, autorul citat se sprijină pe numeroase date experimentale care dovedesc o intimă interacţiune şi interdependenţă între nucleu şi citoplasmă (în ambele sensuri).

Din punct de vedere conceptual, este necesară existenţa unui canal de comunicaţie care să transmită informaţia în sens invers celui reprezentat în schema din fig. 3.45, adică de la proteinele fenotipului, la ADN-ul celulelor germinale (fig. 3.48)[2].

Deoarece stabilitatea caracterelor unei specii este legată de imuabilitatea genotipului, această legătură informaţională

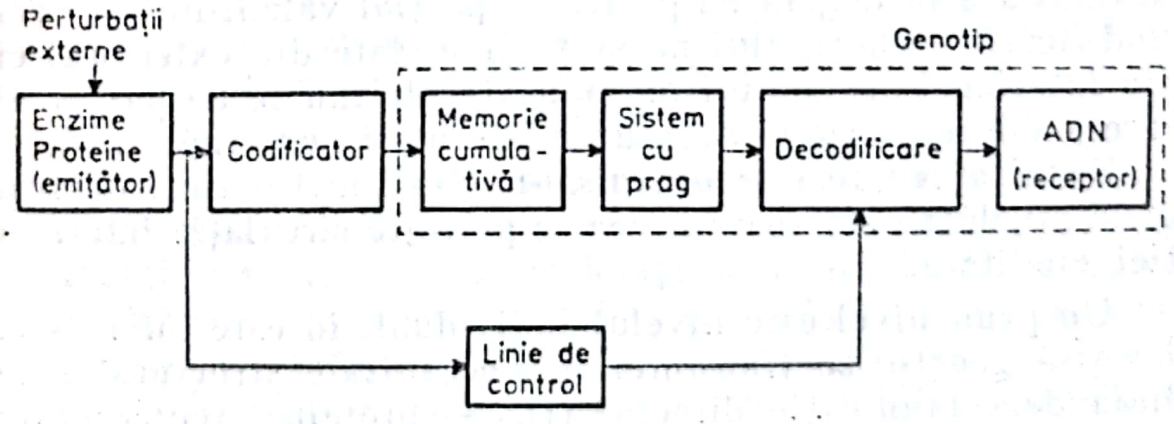


Fig. 3.48

[1] N. Botnariuc, *Principii de biologie generală*, Ed. Academiei R.S.R., Bucureşti, 1967.

[2] M. Beliş, *Prelucrarea informaţiei în sistemele biologice*, Comunicare la sesiunea ştiinţifică a Academiei R.S.R., noiembrie 1978.

Scanned with OKEN Scanner

inversă nu trebuie să fie operativă la nivel individual, așa cum este cea din fig. 3.45; căci aceasta ar însemna ca orice fluctuații, trecătoare, a condițiilor externe sau accidente individuale, să se reflecte asupra descendenților. De aceea, canalul de comunicație trebuie să conțină un bloc de memorie în care să se acumuleze mesajele similare provenite de la indivizii a multe generații succesive și un element cu prag care să dea semnal de ieșire numai cînd acumulările au atins un anumit nivel. Aceasta înseamnă că schema din figura 3.48 funcționează în totalitatea ei numai la indivizii pentru care acumulările din memorie au atins pragul; pentru toți ceilalți, transmisia se oprește la nivelul blocului de memorie (genetică).

Apare deci necesară existența a două tipuri de structuri informaționale la nivelul genotipului; o parte care să conțină informația necesară pentru structurarea fenotipului și alta care să înmagazineze informația acumulată de reprezentanții generațiilor succesive, relativ la condițiile de dezvoltare a fenotipului.

Dogma lui Crick se aplică numai acelei părți a genotipului în care se află înregistrată informația privitoare la caracterele speciei; acestea trebuie conservate de-a lungul generațiilor și ferite de influențe externe, sporadice. Dimpotrivă, factorii externi care afectează funcționarea organismului în mod constant de-a lungul a multe generații, trebuie să poată determina schimbări ale patrimoniului ereditar, pentru a face să beneficieze specia de experiența achiziționată de reprezentanții ei. În felul acesta dogma își păstrează parțial valabilitatea, căci modificările genotipului nu sînt comandate din exteriorul ci din interiorul sistemului reproducător și anume de partea în care s-a înregistrat și acumulat informația externă.

Sistemul cu reacție organism-mediu funcționează deci la două niveluri sistemice în ceea ce privește circulația informației ereditare.

Un prim nivel este nivelul individual, în care informația înscrisă genetic se transformă în organizare structurală, pe linia de comunicație directă ADN — proteine, reprezentată în fig. 3.45. Tot la nivel individual are loc și circulația informației în sens invers, de la celulele somatice la acea parte a genotipului în care se înregistrează (codificat), fără a afecta însă transmisia caracterelor ereditare, specifice speciei. În ce mod și unde se înscriu aceste modificări infinitezimale, aceste „tendințe", iată o problemă deschisă.

Scanned with OKEN Scanner

La nivelul de ordin superior, al speciei, au loc acumulările cantitative, privitoare la solicitările somatice. În acest caz, referindu-ne la schema cu reacţie din fig. 3.46, indivizii care au supravieţuit şi se vor reproduce vor fi nu numai purtători de caractere favorabile (selecţia naturală), ci şi purtători ai unei informaţii exterioare care se transmite şi se acumulează treptat prin mecanismul reproducerii. Cînd acumulările au atins un anumit nivel, are loc o schimbare în structura genotipului, care determină o variaţie fenotipică definitivă (caracter nou al speciei).

Prin acest mecanism, individul poate avea un rol activ în orientarea variaţiilor care apar în cursul evoluţiei unei specii în afară de rolul pasiv, de trecere prin filtrul selectiv al mediului, rol pe care, desigur, îl exercită automat.

Individul nu este numai „... un recipient vremelnic, purtînd o mică parte a genofondului, pentru scurt timp", aşa cum scrie binecunoscutul biolog Ernst Mayr[1]. El nu reprezintă numai *încercările* cu care specia testează orbeşte mediul înconjurător, ci, în succesiunea generaţiilor, un element activ, care încearcă să-şi optimizeze funcţionarea şi transmite urmaşilor ceva din rezultatele sale.

Desigur, transmisia fenotip — genotip este greoaie şi afectată de zgomot. Mult mai fidelă este transmisia directă, genotip-fenotip, în care semnalul util se transmite cu o precizie uimitoare, iar perturbaţiile aproape că nici nu contează (frecvenţa mutaţiilor naturale la musculiţa de oţet este 1 pe 100 000 per locus). Cu toată dorinţa geneticienilor moderni de a explica evoluţia *numai* cu ajutorul lor, ei trebuie să recunoască că mutaţiile sînt rare (şi, în plus, nocive).

Dar, aşa cum prin acţiunea repetată a mediului asupra *semnalelor* emise de specie se reuşeşte să se extragă semnalul util din zgomot, adică să se selecteze variaţiile utile, tot aşa, prin acţiunea repetată a aceloraşi modificări somatice, se transmite la nivelul genotipului un *semnal util* care poate antrena modificări genotipice. Metoda *acumulării*, larg utilizată în sistemele tehnice pentru a extrage semnalul din zgomot, se pare că poate sta la baza transmisiei ereditare.

În ceea ce s-a spus mai sus despre transmisia de informaţie de la genotip la fenotip şi invers s-a considerat o singură trans-

---

[1] Ernst Mayr, *Populations, Species and Evolution*, Harvard University Press, 1970.

Scanned with OKEN Scanner

misie, la un anumit moment, t_0. În realitate există un număr n de transmisii în baza cărora se realizează diversele caracteristici fenotipice în tot cursul ontogenezei.

Se poate presupune existența unui mecanism de temporizare care asigură succesiunea corectă a diverselor programe genetice de-a lungul vieții individului. Este interesant de remarcat că prin apariția de elemente noi, acele caracteristici ale speciei care au devenit inutile nu dispar cu totul (mai ales dacă au avut o importanță deosebită), ci sînt comprimate de mecanismul de temporizare, astfel încît să nu intervină în raporturile individului cu mediul. Le mai observăm numai în viața intrauterină, în care „ontogeneza repetă filogeneza" la o altă scară a timpului.

3.4.2. *Ingineria genetică*

Unul din capitolele bioingineriei, poate cel mai tipic, dar în același timp și cel mai controversat, este acela al ingineriei genetice. Tipic, întrucît se urmărește ameliorarea caracterelor unei specii prin modificări ale patrimoniului genetic; deci „proiectarea" unor indivizi „optimali" și realizarea lor prin intervenția directă asupra elementelor care îi condiționează (așa-numita „chirurgie a genelor"). Controversat, întrucît această imixtiune — deliberată — în tezaurul genetic natural al speciilor și în special a celei umane, ridică o serie întreagă de probleme de ordin etic, greu de rezolvat: care sînt criteriile de „optimalitate", cine le stabilește, cine are dreptul să impună asemenea modificări, cine poate prevedea și răspunde de erorile (monstruozitățile) ce pot apărea pe această cale?

Ingineria genetică se află încă într-un stadiu incipient astfel încît problemele ridicate de ea au doar un caracter de potențialitate. Aceasta deoarece cunoștințele asupra modului de stocare și transmitere a informației ereditare sînt incomplete și deoarece tehnicile medicale implicate de o chirurgie genetică nu sînt elucidate. Cu toate aceste impedimente, ingineria genetică preocupă lumea științifică de specialitate, făcînd obiectul a numeroase publicații, simpozioane și experimente. Poate pentru că, așa cum spunea Aldous Huxley, autorul unei cărți profetice pe această temă (Brave New World): „... Numai cu ajutorul științelor vieții se va putea schimba în mod radical calitatea vieții".

Scanned with OKEN Scanner

Biologia eredității cunoaște astăzi trei metode practice pentru modificarea organismelor, și anume:

1) Eugenia (ingineria eugenică) sau recombinarea genelor existente.

2) Eufenia (ingineria eufenică) sau optimizarea fenotipului.

3) Ingineria genetică propriu-zisă sau producerea de noi gene printr-un proces de mutație dirijată.

Eugenia (termen introdus de Fr. Galton în 1883) urmărește ameliorarea fondului genetic al populațiilor prin asamblarea genelor existente în combinații noi.

La microorganisme, transferul și recombinarea genelor (ADN) se poate face fie prin contactul direct între celule care își transferă una alteia un cromozom sau o parte din el (procesul de conjugare al bacteriilor), fie prin transformare[1] sau transducție[2]. În procesul de transformare, moleculele de ADN ale unei bacterii pot pătrunde în altă bacterie unde sînt încorporate în materialul genetic existent. În procesul de transducție, moleculele de ADN sînt transportate de la o bacterie la alta prin intermediul virușilor care infectează corpul bacteriei gazdă.

Procesele menționate sînt specifice microorganismelor și nu par a putea fi aplicate organismelor superioare, în speță omului. Celulele mamiferelor au un nucleu înconjurat de membrană, care conține două seturi de cromozomi și nu unul singur ca celulele ce au putut fi combinate prin contact. Metodele de transformare și transducție se pot aplica, desigur, unor populații de celule de orice tip, cultivate „in vitro". Astfel, se știe că prin acțiunea virușilor o cultură de celule normale de mamifere se poate transforma în celule canceroase. Dar nu s-au găsit încă metodele de transfer „in vivo" ale informației genetice în organismele superioare, analoage metodelor microbiene.

De aceea, pînă în prezent, ameliorarea fondului genetic al populațiilor umane s-a făcut prin creșterea sau descreșterea selectivă, a anumitor constituții ereditare, prin intermediul reproducerii selective; se deosebește astfel o eugenie pozitivă sau progresivă și o eugenie negativă (eliminarea din reproducere a indivizilor purtători de boli ereditare). Eliminarea s-a făcut fie prin omorîrea pur și simplu a indivizilor tarați (ex.

---

[1] R. D. Hotchkiss, E. Weiss, *Transformed bacteria*, în *Scientific American*, vol. 195, 1956.

[2] N. D. Zinder, *Transduction in bacteria*, în *Scientific American*, vol. 199, 1958.

spartanii), fie prin sterilizare. Aici apar cu pregnanță problemele de ordin etic, în special după exemplul nefast al practicării unei „eugenii" de tip rasist de către naziști, în timpul celui de al doilea război mondial.

Eufenia (termen introdus de J. Lederberg, în 1963[1], constă în controlul și optimizarea fenotipului; mai exact, în controlul modului de expresie a genelor, fără a acționa direct asupra lor.

La nivel molecular, aceasta se poate face intervenind asupra transformărilor chimice prin care genele structurează proteinele. Așa cum s-a arătat în paragraful 3.1.2, producerea de enzime este controlată și de factori ai mediului înconjurător ca în cazul inhibiției alosterice, cînd surplusul de enzime duce la blocarea mecanismului de producere. În fig. 3.3 s-a reprezentat acțiunea moleculelor „represoare" sau „inductoare" asupra genei „operatoare" care controlează activitatea genelor cromozomiale.

Pentru a trece de la nivelul molecular la om, o cale posibilă ar fi aplicarea acestor metode asupra culturilor de celule, reimplantarea lor în corp și utilizarea eugeniei sau a ingineriei genetice pentru modificarea celulelor germinale. Problemele de intoleranță imunologică ridică însă bariere în calea acestor transplanturi.

Pînă la posibilitatea aplicării unor astfel de metode, cea mai simplă formă de eufenie constă în metodele terapeutice obișnuite; de exemplu, limitarea unor produse metabolice nedorite se face printr-un regim adecvat, prin înlocuirea sau adăugarea unor substanțe deficiente ca gamma-globulina, proteine antihemofile, hormoni etc.

Metodele eufenice au ca dezavantaj necesitatea continuării terapiei pe durata vieții, deoarece nu se remediază mecanismul de producere a defecțiunii (la nivel genetic), ci doar efectul său.

În sfîrșit, al treilea mod de a controla ereditatea, constă în a acționa direct asupra materialului genetic prin scoaterea, adăugarea sau înlocuirea genelor; aceste probleme fac obiectul ingineriei genetice propriu-zise.

Unele rezultate s-au obținut în domeniul microorganismelor, mai exact al bacteriilor. Rezultatele sînt doar statis-

---

[1] J. Lederberg, *Molecular biology, eugenics and euphentes*, în *Nature*, vol. 198/1963.

Scanned with OKEN Scanner

tice, în sensul că, din 100 de celule tratate, un procent mai mic de 10% au pus în evidenţă schimbările urmărite: eficienţa controlului este încă slabă. De altminteri, şi mutaţiile induse natural de anumiţi agenţi (radiaţii, substanţe chimice, temperaturi înalte) au un pronunţat caracter aleatoriu; ele se manifestă fie prin schimbarea sau îndepărtarea uneia sau mai multor unităţi de cod dintr-o genă, fie prin reorganizarea structurii, adică transferul unor părţi a materialului genetic de la o poziţie la alta.

Care sînt metodele de a produce mutaţii dirijate?

Pentru a determina schimbări în structura anumitor gene, trebuie găsit un agent mutagen care, odată introdus în materialul genetic, de transformat, să fie capabil să „citească" şi să „recunoască" o anumită secvenţă de simboluri-cod din gena dată, astfel încît să se poată combina cu ea în mod selectiv, schimbîndu-i sau modificîndu-i replicarea. Avînd în vedere că pentru un segment de ADN putem avea de la 100 pînă la 1 000 de simboluri, agentul mutagen capabil să le recunoască trebuie să fie o moleculă cu un conţinut informaţional de acelaşi ordin de mărime. Mutageni specifici naturali se pot obţine prin izolarea unor substanţe regulatoare (represoare), prin producerea de anticorpi dirijaţi împotriva unei gene date sau prin separarea transcriptului ARN al unei gene care, reintrodusă în celulă, va interfera cu replica sa.

În molecula de ADN există anumite porţiuni de „mutabilitate" ridicată (secvenţe de litere care îşi schimbă cu uşurinţă locul sub acţiunea mutagenilor). Cunoaşterea şi localizarea acestor locuri ar da posibilitatea de a acţiona mai eficient.

Un alt mod de a interveni în procesul de replicare a genelor constă în a aplica un mutagen „temporizat" cu acţiune selectivă în timp. Aceasta ar fi posibil datorită caracterului secvenţial de replicare a genelor; într-adevăr, s-a constatat, la bacterii, că genele nu se replică toate în acelaşi moment şi nici în mod aleator. Există o succesiune bine determinată de replicări, fiecare genă fiind programată a se replica la un anumit moment dat. Aplicînd unei populaţii de gene un mutagen obţinut într-o anumită celulă, la momentul $t_0+\Delta t$ de la începutul t_0 al secvenţei, el se va combina şi va modifica în mod selectiv doar genele care se replică la $t_0+\Delta t$ în noua cultură.

Se poate concepe, de asemenea, crearea pe cale sintetică a unor agenţi mutageni selectivi în care un grup reactiv este

Scanned with OKEN Scanner

ataşat de o moleculă purtătoare, cu afinitate specifică pentru anumite regiuni cromozomiale.

În afară de această metodă a „mutaţiilor dirijate" prin care se acţionează selectiv asupra unei unităţi dintr-un cromozom, o altă posibilitate a ingineriei genetice este aşa-numita „încrucişare parţială" (partial crossing). Prin aceasta se înlocuieşte o porţiune dintr-un cromozom cu o porţiune îmbunătăţită (sintetică sau naturală). Partea introdusă este identică cu cea originală, cu excepţia unei unităţi (o nucleotidă sau grup de nucleotide), care este îmbunătăţită în sensul dorit.

În prezent, metodele de inginerie genetică menţionate au fost experimentate atît la microorganisme, cît şi în culturi de celule vegetale.

Progrese importante s-au realizat pe linia sintezei artificiale a genei. Astfel, în 1968, Arthur Kornberg a realizat sinteza ADN de la virusul $\Phi \times 174$; în 1970, G. Khorana a realizat pentru prima oară sinteza unei gene de drojdie de bere, genă conţinînd o secvenţă de 77 nucleotide. În 1975, A. Efstradiatis a realizat sinteza genelor responsabile de producerea hemoglobinei la iepure; aceasta a fost prima sinteză artificială a unei gene de mamifer. Tot în 1975, H. Köster a sintetizat gena umană care determină sinteza unui hormon, angiotensina II, cu rol în reglarea tensiunii arteriale. În ultimii ani, o echipă americană a reuşit sintetizarea genei insulinei şi transferul ei la bacteria E. coli.

Sinteza artificială a genelor şi transferul lor la bacterii (prin intermediul viruşilor) are perspective importante. Astfel, prin cultivarea acestor bacterii ce vor sintetiza antibiotice, hormoni, enzime, se vor putea produce diferite medicamente. Prin implantarea genelor sintetizate artificial în celulele cu gene defecte care determină boli grave (hemofilia, diabetul etc.) se va putea obţine o terapeutică eficientă.

Dar, în cazul organismelor complexe, în afara dificultăţilor de ordin tehnic a acestei „microchirurgii" cromozomiale, se ridică probleme însemnate în ceea ce priveşte controlul general al organismului, plecînd de la aceste elemente. Astfel, este necesar să se ştie exact ce cromozom sau nucleotidă trebuie schimbată, şi în ce fel, pentru a obţine un anumit efect la scara individului. Mai mult decît atît, majoritatea caracterelor nu depind de proteine individuale, ci sînt rezultatul interacţiunii unor combinaţii de gene, precum şi al interacţiunii produselor lor derivate. Aceasta este valabil şi pentru carac-

Scanned with OKEN Scanner

teristici simple şi, cu atît mai mult pentru caracteristici complexe ca nivelul de inteligenţă, vigoarea, longevitatea etc.

Dacă luăm în considerare mulţimea genelor speciei umane, în număr de aproximativ patru miliarde de perechi de nucleotide (de patru tipuri) şi faptul că în cele cîteva miliarde de oameni există un număr uriaş de combinaţii, se înţelege dificultatea stabilirii unei corespondenţe cît de cît exacte între genotip şi expresia sa fenotipică sau psihică.

Este cu atît mai dificil de stabilit o corespondenţă între o caracteristică a individului şi combinaţia de gene care o determină, cu cît acţiunea acestora din urmă nu e strict determinată, ci depinde şi de condiţiile de mediu în care se dezvoltă individul; astfel încît ar trebui să avem şi informaţii asupra modului de realizare a genotipului în diferite medii. Spre deosebire de inginerul obişnuit, bioinginerul genetician se găseşte în faţa unui sistem care pentru a fi depanat sau reproiectat nu este suficient să i se schimbe unele piese. Fiind un sistem evolutiv, el trebuie gîndit în dinamica interacţiunii cu mediul, ceea ce, datorită multiplelor sale grade de libertate, este un proces greu controlabil.

3.4.3. *Simularea evoluţiei*

a) **Automate cu autoreproducere.** Pornind de la teoria maşinii Turing şi a automatelor celulare, matematicianul John von Neumann a abordat posibilitatea realizării unor maşini care să se autoreproducă. Din punct de vedere conceptual, aceasta revine la a găsi condiţiile ca o maşină, cu o funcţionare dată, să poată elabora o maşină avînd aceeaşi funcţionare[1].

Von Neumann a analizat condiţiile de *universalitate* ale unui automat din trei puncte de vedere: al posibilităţilor de calcul, de construcţie a unei alte maşini şi de autoreproducere.

Universalitatea de calcul este aceeaşi cu a unei maşini universale Turing (§ 3.2.3).

Universalitatea de construcţie se defineşte ca posibilitatea maşinii de a construi *orice* altă maşină dacă i se dă o descriere completă a acesteia.

După cum a arătat von Neumann, posibilitatea de autoreproducere derivă în mod logic din primele două, în sensul

[1] John von Neumann, *Theory of Self-Reproducing Automata*, Univ. of Illinois Press, 1966.

Scanned with OKEN Scanner

că o mașină universală din punct de vedere al construcției și al calculului poate fi un automat cu autoreproducere.

Menționăm că argumentele și demonstrațiile s-au făcut pe automate abstracte.

În final, von Neumann a schițat și posibilitatea elaborării unui model *cinematic* prin care să se realizeze practic modelul formal ce va fi schițat în continuare.

Fie un automat A care este un *constructor universal* (fig. 3.49 *a*). În baza acestei proprietăți, dacă i se dă o descriere a unui alt automat, el îl poate construi. Dacă i se dă descrierea $d(A)$ a propriei sale funcționări, atunci el va produce un automat identic cu el însuși (minus descrierea). Dacă se combină automatul A cu un automat B care are proprietatea de a copia orice descriere (fig. 3.49 *b*), deci transformă pe $d(A)$ în $d(A)$, atunci se obține automatul D (fig. 3.49 *c*), care mai conține și un dispozitiv de comandă, C, cu rol de regulator al succesiunii operațiilor. Dispozitivul C primește descrierea $d(A)$, o dă lui B spre copiere, lui A spre construcție și reunește cele două operații pentru a obține produsul final, un automat A cu propria sa descriere, $d(A)$. Combinația A, B, C este deci un automat D care se reproduce împreună cu descrierea sa, $d(D)$ (fig. 3.49 *d*).

b) **Inteligență artificială prin simularea evoluției.** Cercetătorii din domeniul inteligenței artificiale și-au pus problema dacă încercările de a modela pe cale tehnică diverse aspecte ale inteligenței umane nu ar reuși mai bine dacă

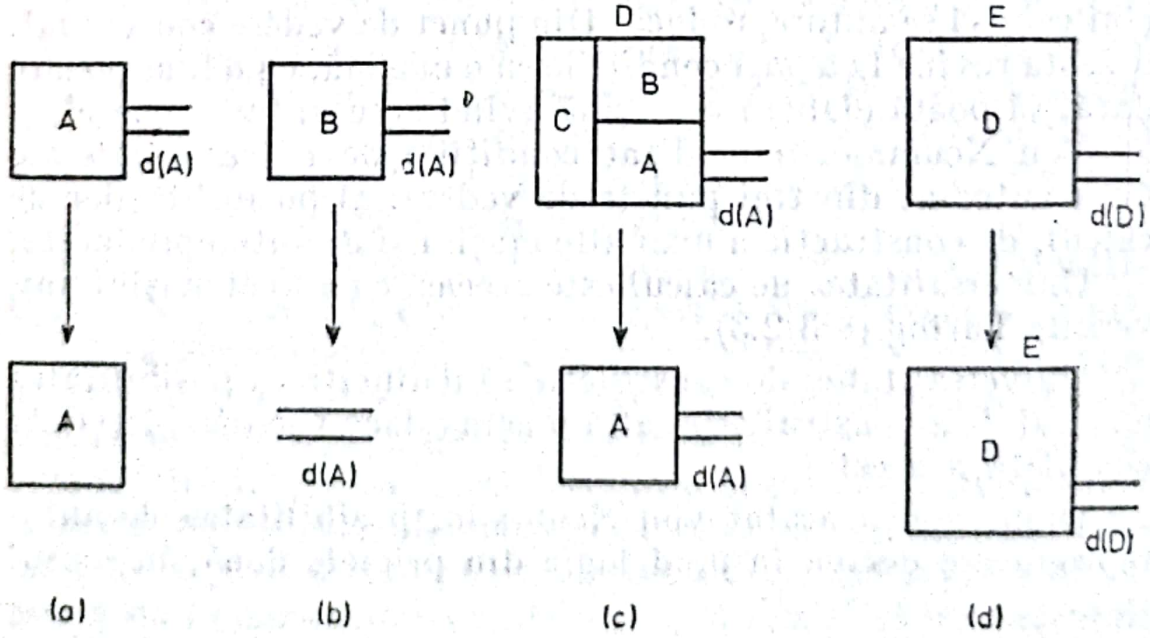


Fig. 3.49 a, b, c, d

Scanned with OKEN Scanner

s-ar imita însuşi mecanismul care a dat naştere acestei inteligenţe şi anume evoluţia biologică.

În concepţia iniţiatorilor acestei experienţe[1], organismul este reprezentat matematic printr-o maşină (conceptuală) cu un număr finit de stări. În baza unei logici proprii, maşina transformă o secvenţă de simboluri de intrare într-o secvenţă de simboluri de ieşire. Corespondenţa intrare-stare-ieşire se poate reprezenta fie printr-un graf, fie printr-un tabel. În fig. 3.50 se dă ca exemplu o maşină cu trei stări, A, B şi C, cu două simboluri de intrare, 0 şi 1, şi cu trei simboluri de ieşire, α, β şi γ. Pe diagrama de stări din fig. 3.50 se observă, de exemplu, că dacă maşina se află în starea A şi primeşte la intrare simbolul 0, atunci va emite simbolul β şi va trece în starea B; dacă însă primeşte la intrare un 1, emite β şi rămîne tot în A. Tabelul 3.1 sintetizează funcţionarea maşinii. La ieşire se obţine o succesiune de simboluri care depinde de succesiunea de simboluri de intrare şi de *starea iniţială* a maşinii. Tabelul corespunde grafului din fig. 3.50.

Tabelul 3.1

Starea prezentă	C	B	C	A	A	B
Simbolul de intrare	0	1	1	1	0	1
Starea următoare	B	C	A	A	B	B
Simbolul de ieşire	β	α	γ	β	β	γ

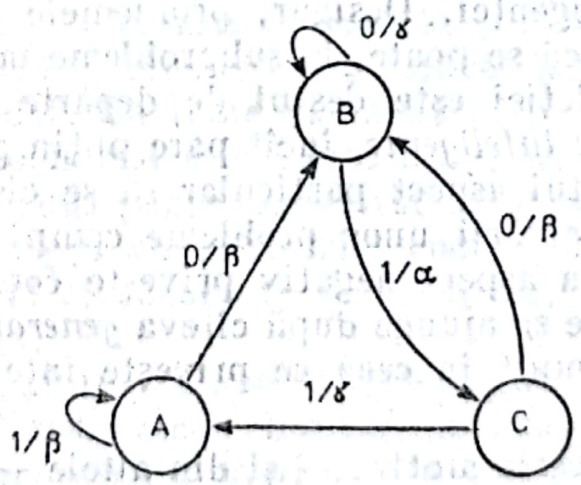


Fig. 3.50

[1] L. J. Fogel, A. J. Owens, M. J. Walsh, *Artificial Intelligence through simulated evolution*, Wiley, New York, 1966.

Scanned with OKEN Scanner

Prin *mediu înconjurător* s-a înţeles orice sursă de informaţie, iar pentru simplificare s-a ales o sursă secvenţială de simboluri formînd un alfabet finit.

Ca exemplu de comportare inteligentă a omului s-a ales posibilitatea de predicţie a evenimentelor externe şi de a lua (pe această bază) hotărîri în vederea îndeplinirii unui scop.

Pentru modelarea acestui aspect cu ajutorul maşinii s-a căutat elaborarea unui program (căci *maşina* a fost simulată pe un calculator), al cărui algoritm să furnizeze simboluri de ieşire care să concorde cu cele date de mediu. Procentajul de preziceri corecte reprezintă o măsură a inteligenţei maşinii. Orice informaţie privitoare la *logica* mediului este integrată în logica maşinii pentru a se obţine concordanţe mai bune.

După ce s-au evaluat performanţele programului *parental* în modul descris mai sus, se procedează la elaborarea unui program *descendent*, utilizîndu-se mutaţii, adică schimbări aleatoare în logica maşinii care să producă secvenţe de simboluri la ieşire, puţin modificate. Dacă scorul de preziceri corecte este mai bun ca al programului precedent, descendentul se păstrează constituind părintele unui nou descendent.

În felul acesta, prin programe succesive se îmbunătăţeşte scorul prezicerilor corecte, iar programele *evoluează* după modelul evoluţiei biologice.

O primă remarcă care se poate face asupra celor de mai sus priveşte modul foarte simplificat în care s-a abordat problema inteligenţei. Desigur, problemele complicate trebuie reduse, dacă se poate, la subprobleme mai simple. Dar, problema predicţiei este destul de departe de complexitatea problemelor *inteligente*, încît pare puţin probabil ca prin rezolvarea acestui aspect particular să se cîştige experienţă în direcţia rezolvării unor probleme complexe.

Un al doilea aspect negativ priveşte complexitatea programelor la care se ajunge după cîteva *generaţii* de programe, fără a cîştiga mult în ceea ce priveşte inteligenţa însăşi a programului.

Poate din aceste motive — şi din altele — simularea evoluţiei biologice nu a constituit o linie de cercetare ascendentă în domeniul inteligenţei artificiale.

c) **Un model al evoluţiei organice**[1]. Simularea are aic drept scop studiul însuşi al procesului evoluţiei biologice.

Scanned with OKEN Scanner

Cele două *sisteme* luate în consideraţie sînt: mediul înconjurător (sistem cu stări constante într-o primă aproximaţie) şi o specie biologică (sistem evolutiv cu stări variabile) (fig. 3.46).

S-a stabilit (3.4.1) că aceste două sisteme interacţionează în cadrul unui circuit cu conexiune inversă: specia trimite în mediu descendenţi care sînt testaţi, astfel încît supravieţuitorii, care constituie răspunsul mediului, vor întări specia prin înmulţire. Mediul joacă deci rolul unui filtru care triază anumite componente, întărind astfel, progresiv, anumite caracteristici ale speciei. Este aspectul *adaptiv* al procesului evoluţiei. Pe de altă parte, în elaborarea descendenţilor, transmisia informaţiei genetice este afectată de zgomot, care poate fi o sursă de noi caracteristici. Mediul triază caracteristicile favorabile. Acestea se datoresc atît zgomotului (aleatoriu), cît şi constrîngerilor impuse de organizarea generală a speciei respective. Este aspectul de *complexificare* a evoluţiei.

Atît adaptarea cît şi complexificarea sînt mecanisme care se pun în evidenţă la nivelul speciei şi se datoresc atît variaţiilor individuale, cît şi acţiunii mediului.

În cele ce urmează, entităţile „mediu" şi „specie" vor fi reprezentate prin formalismul teoriei sistemelor, ca un punct în spaţiul stărilor (spaţiul parametrilor fizici) sau prin vectorul care uneşte originea cu acest punct. Dimensiunea spaţiului depinde de numărul de parametri fizici pe care îi luăm în considerare la definirea sistemului respectiv.

Mediul este deci reprezentat printr-un *vector mediu*, într-un spaţiu cu n dimensiuni. Poziţia şi modulul vectorului depind de valorile particulare ale caracteristicilor mediului, la un moment dat. Cu toate că numărul parametrilor fizici care definesc mediul real este foarte mare, ne vom limita la un număr mai redus pentru necesităţile de calcul. Pe de altă parte, tot în scopul simplificării, vom considera că aceşti parametri au valori constante cu toate că, în realitate, ei variază în timp.

Un individ dintr-o anumită specie este reprezentat, la rîndul său, printr-un *vector individ*, în spaţiul parametrilor săi fizici. Dimensiunea acestui spaţiu este mult mai redusă decît cea a mediului şi depinde de complexitatea structurală

[1] J. M. Legay, M. Beliş, J. P. Croze, *Un modèle de l'évolution organique*, Comunicare la Congresul internaţional de cibernetică, Namur, Belgia, 1970.

Scanned with OKEN Scanner

a speciei respective. Cu alte cuvinte, caracteristicile speciei determină subspaţiul vectorial al vectorilor de bază, în care vectorii particulari reprezintă indivizi.

Criteriul de optimalitate după care se efectuează confruntarea individului cu mediul în cadrul modelului este acela al unghiului minim dintre vectorii reprezentativi: cu cît vectorul individ se apropie de paralela la vectorul mediu, cu atît individul este mai viabil şi specia este mai adaptată.

Există trei tipuri de variaţii puse în evidenţă în modelul prezentat:

a) variaţiile individuale, reprezentate prin variaţii aleatorii ale componentelor vectoriale ale diverşilor indivizi;

b) mutaţiile, reprezentate prin variaţia poziţiei vectorilor de bază ai subspaţiului;

c) complexificările, reprezentate prin mărirea dimensiunii subspaţiului.

În fig. 3.51 se reprezintă schema bloc a modelului; se observă că fiecare nou individ, care combină caracteristicile

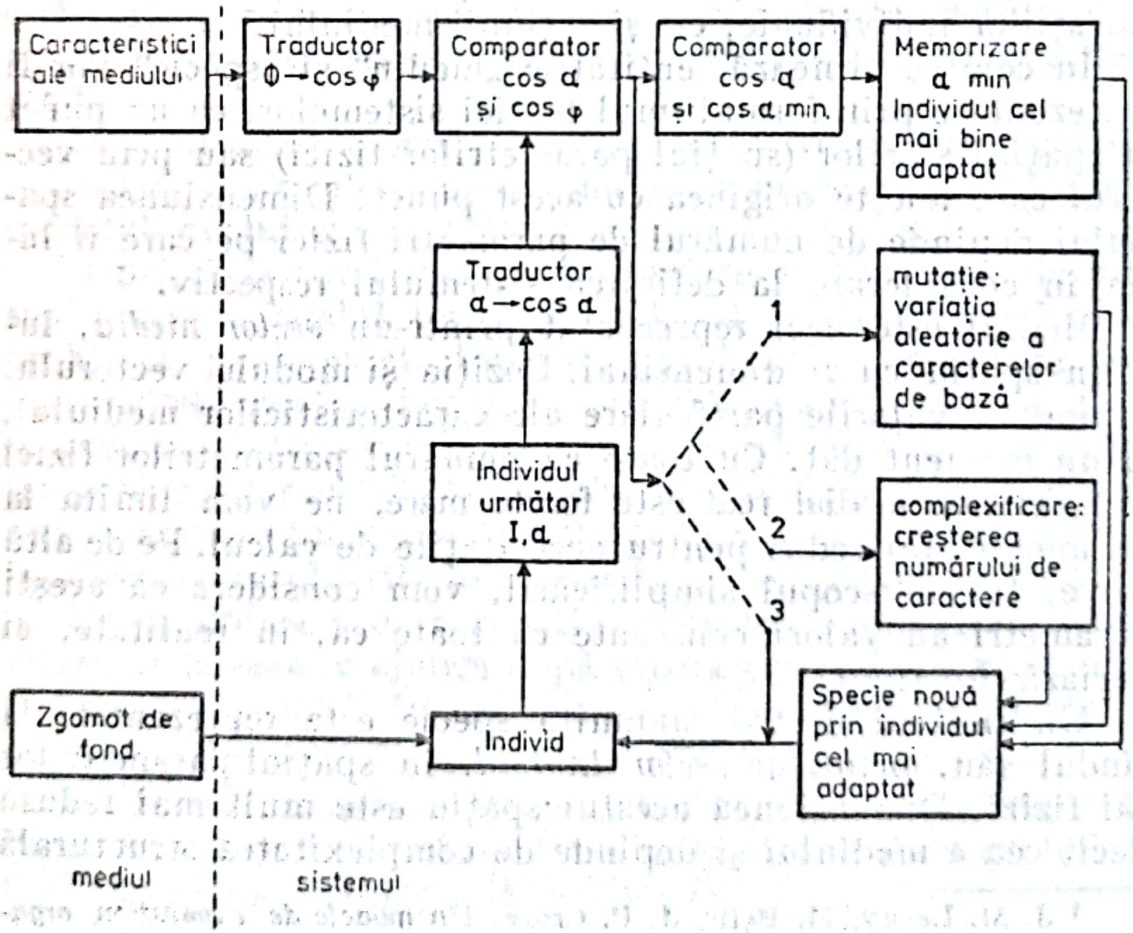


Fig. 3.51

speciei cu variaţiile aleatorii ale caracteristicilor individuale, este confruntat cu mediul prin intermediul unui comparator de unghiuri (mai exact de cosinus). În cadrul unei succesiuni de indivizi se memorizează individul cu unghi minimal. În natură, această confruntare se efectuează simultan pentru un mare număr de indivizi, supravieţuitorii avînd caracteristicile vectorului memorizat.

Aceste variaţii individuale se combină cu mutaţiile şi cu complexificările, pentru a da naştere unei noi specii, sursă de noi indivizi.

Modelul descris mai sus a fost transcris în FORTRAN şi încercat pe un calculator Bull General Electric-265.

Programul a permis studierea vitezei şi gradului de adaptare a unei specii în funcţie de diverşii parametri care îi condiţionează evoluţia: variaţiile individuale, frecvenţa mutaţiilor, complexitatea speciei. S-au modificat succesiv fiecare din aceşti parametri, menţinînd pe ceilalţi doi constanţi, pentru a scoate în evidenţă influenţa fiecăruia din ei asupra procesului studiat.

a) **Influenţa variaţiilor individuale.** Menţinînd frecvenţa mutaţiilor constantă, pentru o specie de complexitate dată, s-a studiat variaţia unghiului α dintre un vector individ şi vectorul mediu, în funcţie de amplitudinea Δa variaţiilor individuale, pentru o succesiune de 100 de indivizi (fig. 3.52). Se constată că viteza şi gradul de adaptare (panta şi ordonata finală a curbei pentru cel de al 100-lea individ) cresc cu amplitudinea variaţiilor individuale. Într-adevăr, cu cît aceste variaţii vor fi mai consistente, cu atît ele vor da mai mult priză selecţiei naturale care va efectua o triere mai eficientă a indivizilor mai bine adaptaţi.

Dacă se repetă experienţa pentru o specie de complexitate superioară ($n=9$), se constată că variaţiile nu mai influenţează asupra gradului de adaptare (ordonata finală) de la o anumită valoare în sus ($\Delta>0{,}01$); ele influenţează însă în continuare viteza de adaptare.

Dacă se repetă acum aceste două experienţe mărind frecvenţa mutaţiilor (fig. 3.53), se constată că în cazul mutaţiilor mai frecvente (o mutaţie la fiecare doi indivizi), influenţa variaţiilor individuale este mai accentuată. Aceasta se explică prin faptul că ele se exercită asupra unui material mai variabil.

Scanned with OKEN Scanner

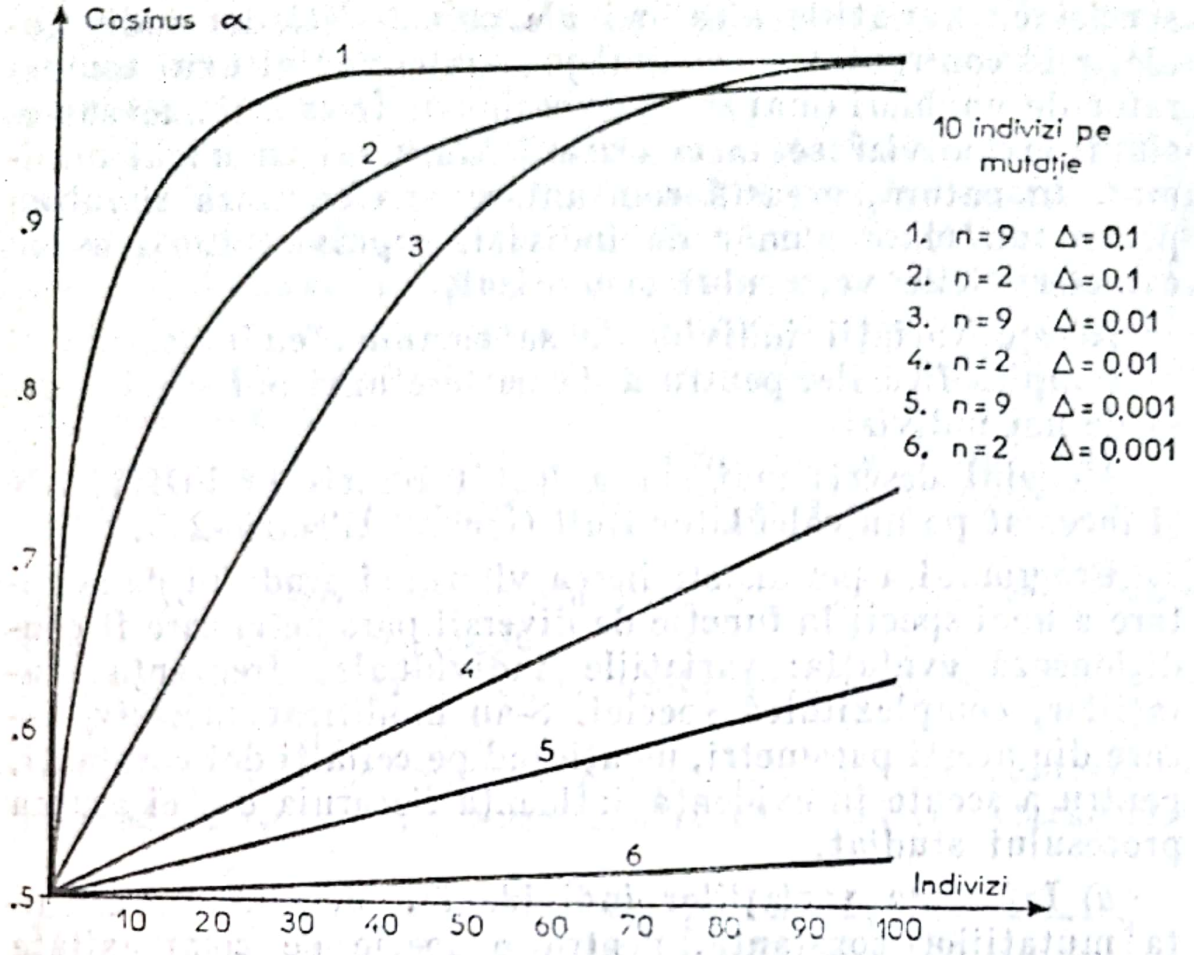


Fig. 3.52

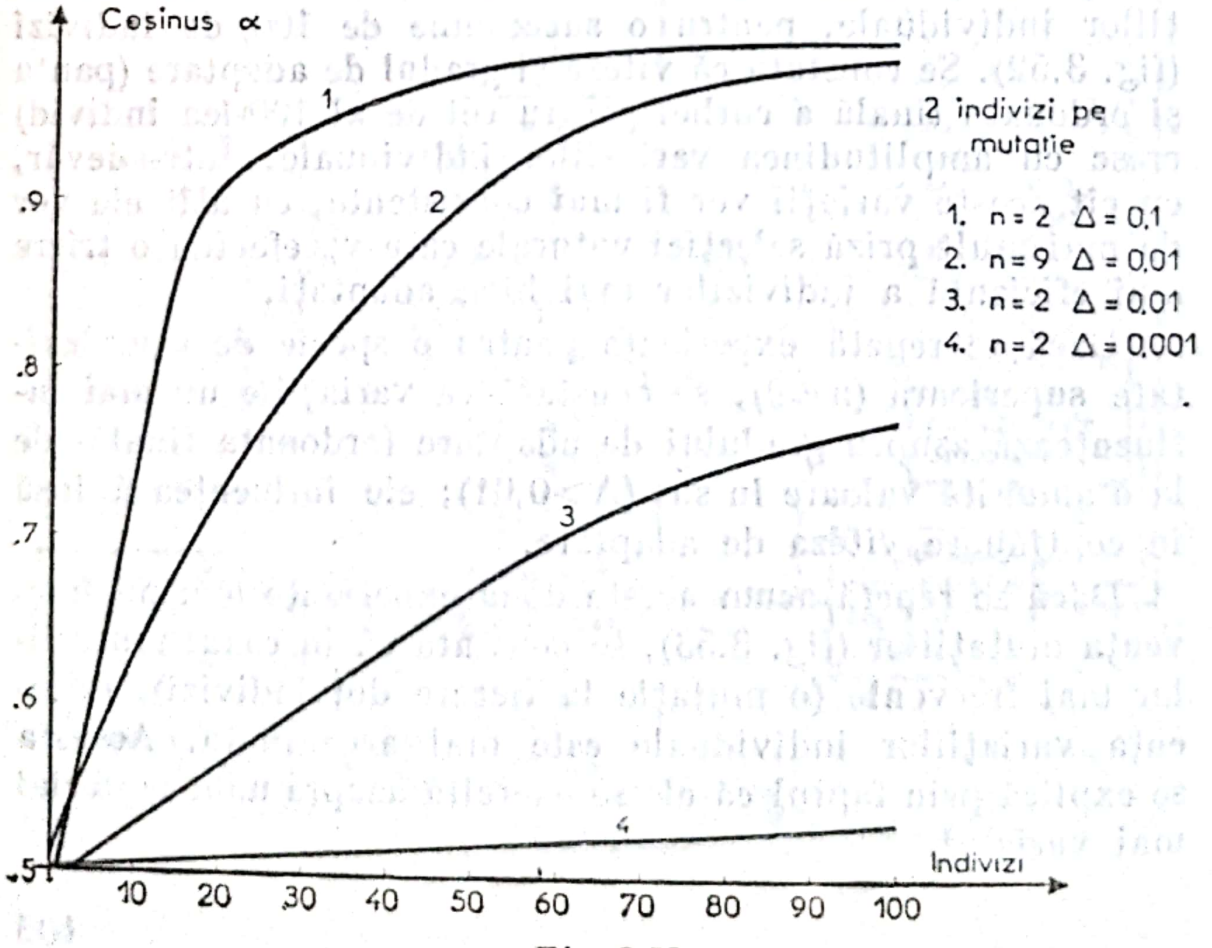


Fig. 3.53

Scanned with OKEN Scanner

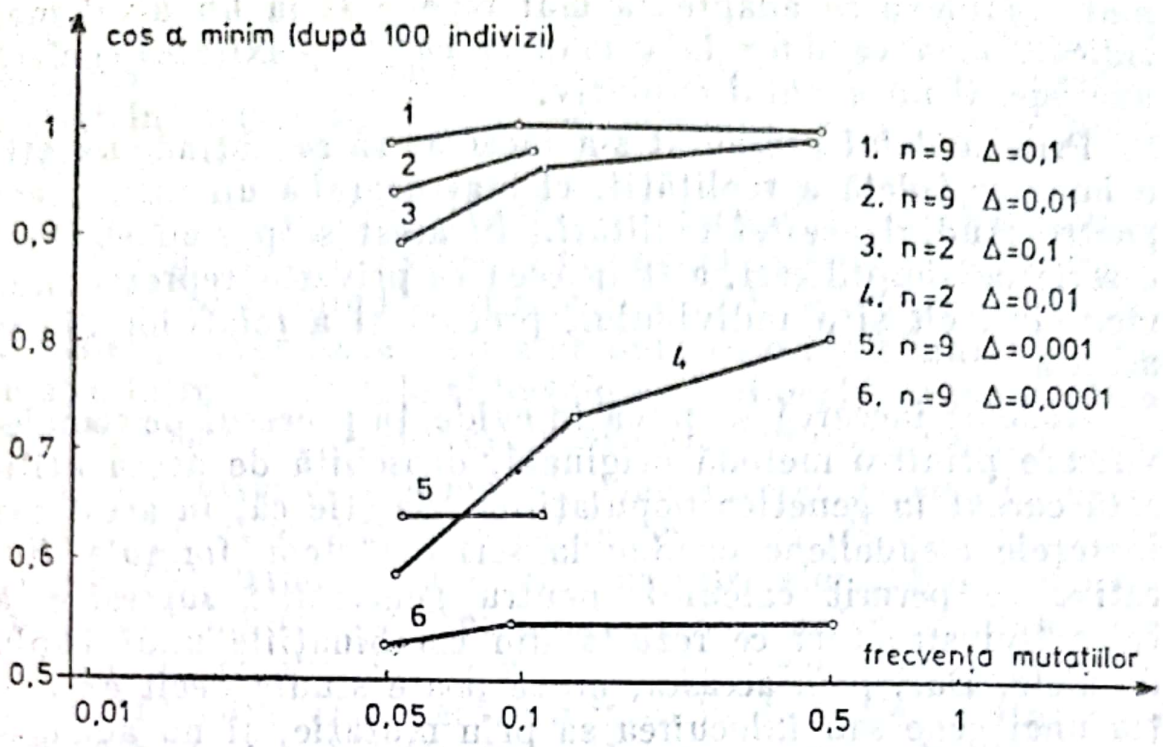


Fig. 3.54

b) **Influenţa frecvenţei mutaţiilor.** După cum se vede în fig. 3.54, gradul de adaptare creşte cu frecvenţa mutaţiilor; aceasta pare a influenţa mai mult speciile simple ($n=2$) decît pe cele complexe ($n=9$), aşa cum rezultă din pantele curbelor.

c) **Influenţa complexificării.** În fig. 3.55 se poate urmări variaţia unghiului α de adaptare pentru 100 de indivizi succesivi, aparţinînd unor specii diferite. Se remarcă că specia

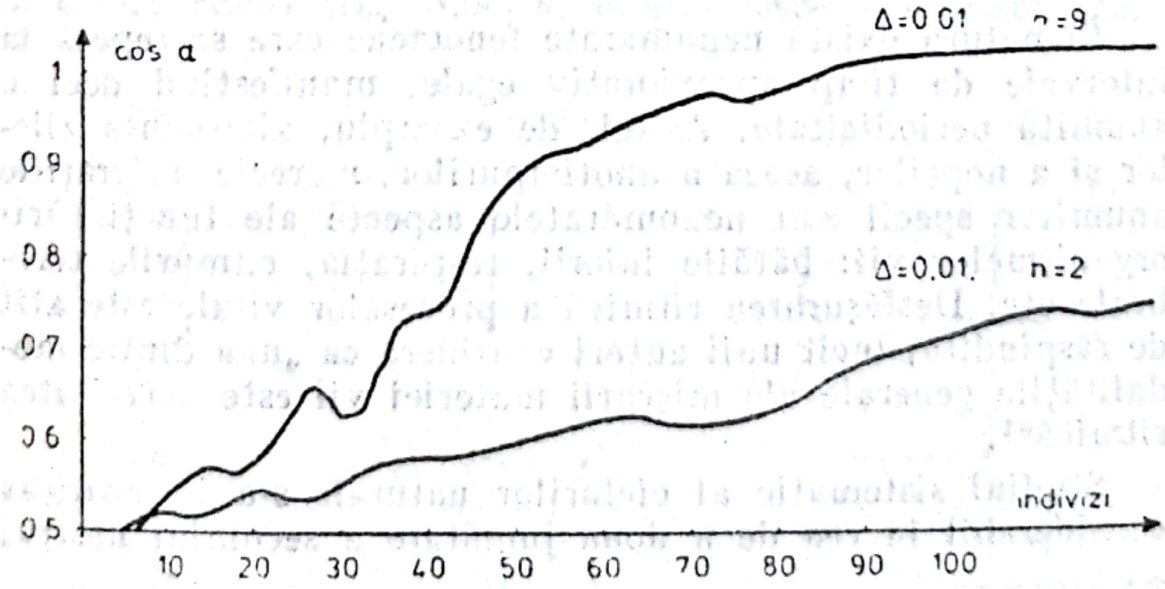


Fig. 3.55

mai complexă se adaptează mai repede şi la un nivel mai ridicat, ceea ce duce la concluzia că complexitatea conferă unei specii un avantaj evolutiv.

Prin modelul prezentat s-a încercat să se obţină, nu atît o imagine fidelă a realităţii, ci mai degrabă un instrument pentru studiul acestei realităţi. În acest scop s-au efectuat o serie de simplificări, atît în ceea ce priveşte reprezentarea mediului, cît şi a individului, precum şi a relaţiilor dintre aceştia.

Modelul încearcă să pună în evidenţă procesul de complexificare printr-o metodă originală, deosebită de aceea utilizată curent în genetica populaţiilor. Se ştie că, în acest caz ipotezele mendeliene conduc la scrierea unor formule iterative ce permit calculul, pentru generaţiile succesive, a celor trei structuri ce rezultă din combinaţiile unui cuplu de alele. Dar, prin aceasta, nu se poate studia decît extincţia unei gene sau înlocuirea sa prin mutaţie, şi nu adăugarea unei noi gene.

Modelul de mai sus poate aborda fenomenul complexificării tocmai pentru că nu ţine seama de constrîngerile mendeliene. Ar fi poate interesant de stabilit o legătură între acest model vectorial şi modelul mendelian.

3.5. Adaptarea prin sincronizare

În natură există nenumărate fenomene care se repetă la intervale de timp aproximativ egale, manifestînd deci o anumită periodicitate. Astfel, de exemplu, alternanţa zilelor şi a nopţilor, aceea a anotimpurilor, mareele, migraţiile anumitor specii sau nenumăratele aspecte ale funcţionării organismelor vii: bătăile inimii, respiraţia, ritmurile cerebrale etc. Desfăşurarea ritmică a proceselor vitale este atît de răspîndită, încît unii autori consideră că „una dintre modalităţile generale ale mişcării materiei vii este activitatea ritmică“[1].

Studiul sistematic al ciclurilor naturale s-a intensificat considerabil în cea de a doua jumătate a secolului nostru,

[1] Al. Lungu, *Orologiile biologice*, Ed. ştiinţifică, Bucureşti, 1968.

Scanned with OKEN Scanner

cînd s-au înfiinţat institute de cercetare, au apărut publicaţii de specialitate şi cursuri universitare axate pe această temă; numai în domeniul ritmurilor biologice se pot cita peste 30 000 de lucrări.

„Fundaţia pentru studiul ciclurilor" din Pittsburgh (S.U.A.) a scos în evidenţă peste 500 de fenomene naturale, periodice, aparţinînd unui număr de 36 de domenii diferite. „Existenţa unor forţe ciclice ar implica o mult mai mare corelaţie între elementele şi forţele naturii decît s-a crezut pînă acum", a spus E. R. Dewey, preşedintele fundaţiei menţionate.

În rîndurile care urmează, vom încerca să analizăm influenţa pe care ritmicitatea fenomenelor exterioare o are asupra ritmurilor vitale ale organismelor. Sincronizarea ritmurilor interne pe frecvenţele fenomenelor naturale este una dintre componentele procesului de adaptare a organismelor la mediu. Dar, pentru a intra în detaliile acestui proces, să vedem mai întîi, în mod succint, ce se înţelege prin sincronism.

3.5.1. *Oscilaţii, periodicitate şi sincronism*

Un fenomen se numeşte periodic dacă el se reproduce la intervale aproximativ egale de timp. Aceste intervale de timp reprezintă *perioada* fenomenului; numărul de perioade care au loc în unitatea de timp reprezintă *frecvenţa* fenomenului.

Dintre sistemele mecanice, pendulul şi greutatea legată de un resort (fig. 3.56, *a*, *b*) sînt sisteme oscilante care

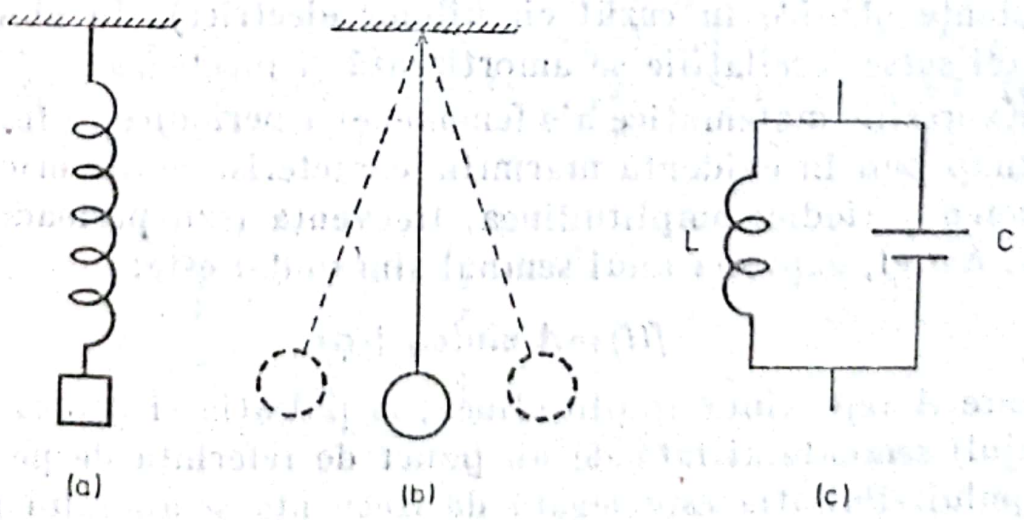


Fig. 3.56, a, b, c

Scanned with OKEN Scanner

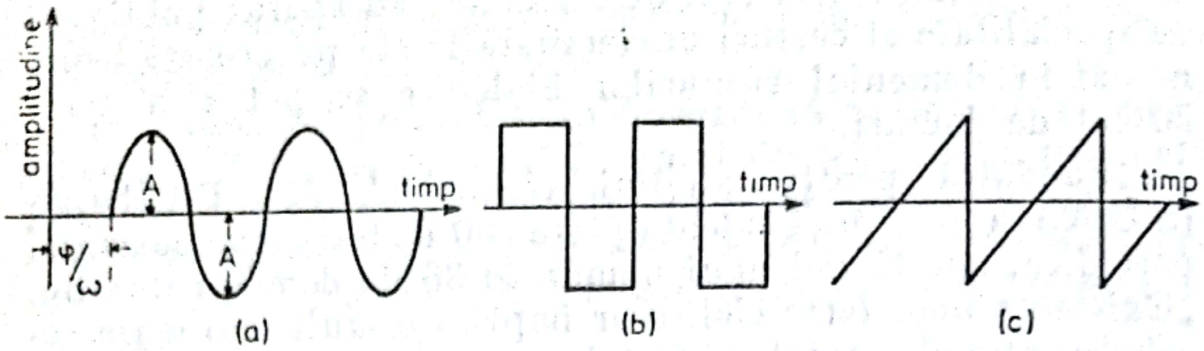


Fig. 3.57 a, b, c

pun în evidenţă o mişcare periodică: la intervale egale de timp, sistemul se găseşte în aceeaşi stare (poziţie, viteză).

Un alt exemplu de fenomen periodic îl constituie semnalul electric (tensiune, curent), furnizat de un oscilator avînd, de exemplu, un circuit *LC* (fig. 3.56, *c*). În acest caz, semnalul are formă sinusoidală (fig. 3.57, *a*). Alte tipuri de oscilatoare pot genera semnale dreptunghiulare, în dinţi de fierăstrău etc. (fig. 3.57, *b*, *c*).

Oscilaţiile armonice din sistemele mecanice, electrice etc. se produc atunci cînd sistemul posedă două rezervoare de energie care îşi transferă alternativ energie. Astfel, în cazul sistemului mecanic, rezervorul de energie este resortul care se întinde sub acţiunea unei forţe exterioare, acumulînd energie; în cazul sistemului electric, rezervoarele de energie sînt bobina şi condensatorul.

Întreţinerea oscilaţiilor se face cu ajutorul unei surse exterioare, care pompează mereu energie în rezervoarele menţionate, compensînd pierderile (frecări în sistemele mecanice, rezistenţe ohmice în cazul circuitelor electrice). În absenţa acestei surse, oscilaţiile se amortizează şi încetează.

Expresiile matematice ale fenomenelor periodice ca funcţii de timp pun în evidenţă mărimile caracteristice ale oricărui fenomen periodic: amplitudinea, frecvenţa (sau perioada) şi faza. Astfel, expresia unui semnal sinusoidal este:

$$f(t)=A\sin(\omega t+\varphi),$$

în care A reprezintă amplitudinea, ω pulsaţia şi φ faza (decalajul) semnalului faţă de un punct de referinţă de pe axa timpului. Pulsaţia este legată de frecvenţa semnalului prin relaţia $\omega=2\pi f$.

Scanned with OKEN Scanner

O proprietate interesantă a semnalelor periodice este că, indiferent de forma lor (dar în ipoteza că satisfac anumite condiţii de monotonie), ele pot fi descompuse într-o sumă de semnale sinusoidale. Astfel, un semnal periodic, oarecare, de perioadă T, poate fi reprezentat prin suma:

$$f(t)=\frac{A_0}{2}=\sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega t+\varphi_n),$$

unde A_0, A_1, A_2... sînt amplitudinile diferitelor componente armonice avînd frecvenţele f, $2f$, $3f$... nf, adică multipli ai frecvenţei fundamentale f, iar φ_n defazajele componentelor.

Totalitatea acestor oscilaţii constituie *spectrul de frecvenţă* al semnalului. Acesta poate fi reprezentat printr-o succesiune de segmente, de mărimi egale cu amplitudinile componentelor şi separate prin intervale egale cu frecvenţa de repetiţie a semnalului (fig. 3.58).

Dacă un sistem S_1 oscilează pe o frecvenţă proprie f_1 (determinată de parametrii sistemului) şi dacă, în apropierea sa, se găseşte un alt sistem oscilant, S_2, cu frecvenţa f_2, în anumite condiţii, cele două sisteme se pot *sincroniza*, adică pot oscila pe aceeaşi frecvenţă.

Să presupunem că S_1 este un oscilator de putere mare şi S_2 un oscilator de putere mai mică şi că există un cuplaj electric sau magnetic prin care o parte din tensiunea primului se injectează în circuitul celui de al doilea; în acest caz, oscilatorul S_1 determină modificarea frecvenţei f_2 a oscilatorului S_2, iar pentru anumite valori ale frecvenţei f_1 apropiate de f_2 (plaja de sincronizare), oscilatorul S_2 oscilează chiar pe frecvenţa f_1. Spunem că are loc o *sincronizare comandată*; oscilatorul S_1 comandă frecvenţa de oscilaţie a lui S_2.

În teoria sincronizării se studiază condiţiile în care sincronizarea este stabilă, limitele plajei de sincronizare în funcţie de variaţia amplitudinii şi frecvenţei semnalului de co-

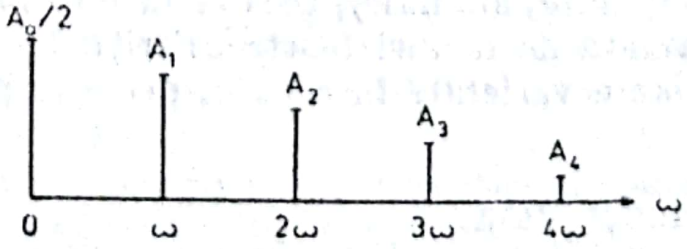


Fig. 3.58

Scanned with OKEN Scanner

mandă, modul în care variază frecvenţa oscilatorului comandat în apropierea sincronismului etc.[1].

Un alt tip de sincronizare este acela al *sincronizării mutuale*, care are loc între doi oscilatori de puteri şi frecvenţe apropiate, ce oscilează unul în prezenţa celuilalt. Influenţa este reciprocă, în sensul că ambii oscilatori îşi modifică puţin frecvenţa, ansamblul oscilînd pe o frecvenţă intermediară, apropiată şi de f_1 şi de f_2. Prin extindere s-a studiat posibilitatea sincronizării unui şir de oscilatori pe aceeaşi frecvenţă, concomitent cu modularea lor, în scopul transmiterii informaţiei[2].

Fenomenul sincronizării — comandate sau mutuale — a suscitat numeroase studii teoretice şi aplicaţii practice în electronică şi telecomunicaţii. El este observabil însă şi în alte sisteme fizice (mecanice, biologice etc.). În paragraful următor se reliefează unele aspecte ale sincronizării ritmurilor biologice, fenomen cu deosebite implicaţii în procesul de adaptare.

3.5.2. *Adaptarea bioritmurilor*

Ritmurile biologice au atras atenţia oamenilor din cele mai vechi timpuri, dar studiul lor sistematic — bioritmologia — s-a dezvoltat de-abia în secolul nostru. De la simpla observaţie că unele flori se deschid cu regularitate ziua şi se închid noaptea, pînă la măsurarea frecvenţei undelor cerebrale, cunoaşterea omenească a parcurs un drum lung pe parcursul căruia ea a fost considerabil ajutată de dezvoltarea aparaturii tehnice.

Obiectivele principale ale bioritmologiei sînt depistarea şi clasificarea bioritmurilor, studiul mecanismelor intime ale producerii lor şi a legilor generale care le guvernează. Există o mare varietate de bioritmuri, în funcţie de nivelul sistemic luat în considerare (celulă, individ, specie etc.) sau de tipul organismului (plante, animale), ceea ce face ca producerea lor să fie determinată de factori foarte diferiţi. Se constată, de asemenea, o mare varietate în ceea ce priveşte perioada bio-

---

[1] T. Tănăsescu, *Manual de tuburi şi circuite electronice*, vol. III, Ed. Academiei R.S.R., 1957.

[2] Gh. Cartianu, Al. Preda, *Sistem de comunicaţie cu MF cu oscilaţii sincronizate*, Comunicare la sesiunea ştiinţifică a Institutului Politehnic Bucureşti, mai, 1965.

Scanned with OKEN Scanner

ritmurilor. Astfel, există bioritmuri de perioadă scurtă (de ordinul secundelor sau al minutelor), ca acela al biocurenților cerebrali sau al contracțiilor cardiace, și bioritmuri de perioadă lungă (de ordinul zilelor, lunilor sau al anilor), ca mișcarea frunzelor și a florilor, bioritmul mareic, cel astral, hibernarea, migrațiile etc.

Existența ritmurilor circadiene (de aproximativ o zi), a celor lunare, anuale sau multianuale, arată strînsa dependență dintre activitățile vitale ale organismelor (la nivel individual sau de grup) și desfășurarea fenomenelor astronomice înconjurătoare. Această dependență este, desigur, rezultatul unui lung proces de adaptare, în urma căruia ritmurile vitale proprii ale organismelor s-au modificat treptat sub acțiunea ritmurilor fenomenelor exterioare, sincronizîndu-se în final cu acestea.

În cazul unor oscilatoare mecanice sau electrice, frecvențele proprii de oscilație depind de structura și valorile parametrilor fizici ai sistemului (lungimea firului pendulului, constanta de elasticitate a resortului, inductanța și capacitatea circuitului rezonant etc.). Tot astfel, este probabil ca frecvențele inițiale de desfășurare a proceselor vitale să fi fost determinate de parametri și modul de organizare a materiei organice la nivelul sistemic respectiv.

Dar desfășurarea ciclică a acestor procese încă nesigure și sporadice a fost influențată de ritmurile, mult mai stabile, ale mediului înconjurător. Astfel, asimilația și dezasimilația celulară, care se desfășurau inițial în funcție de necesitățile vitale ale celulei, au început treptat să fie influențate de alternanțele de lumină și întuneric, care le favorizează sau defavorizează. Această modificare fiziologică a implicat modificări structurale care s-au înscris în patrimoniul genetic prin acțiunea corelată a variațiilor și a selecției naturale.

În sistemele pluricelulare, ritmicitatea elementelor componente este coordonată de un centru unic — sistemul nervos central al mamiferelor superioare. Ritmicitatea circadiană se observă în funcționarea organismului în ansamblu, ca de exemplu respirația, asimilația și dezasimilația în cazul organismelor vegetale, alternanța activității motorii și a repausului la animale etc.

Este posibil ca pe alte planete ale sistemului nostru solar, sau în alte sisteme solare, dacă ar exista viață, toate activitățile care se desfășoară cu o perioadă de 24 de ore pe Pămînt, să aibă acolo alte ritmicități.

Scanned with OKEN Scanner

Această dependență s-a verificat experimental izolînd organismul de mediul înconjurător și menținîndu-l la lumină sau întuneric continuu, ceea ce duce, după un interval mai lung sau mai scurt, la modificarea și uneori chiar la stingerea ritmurilor circadiene.

Este interesant însă faptul că, înainte de stingere, bioritmul se lungește sau se scurtează față de perioada circadiană (24 ore), luînd valori specifice în funcție de specia sau chiar organismul individual respectiv. Aceasta pledează în favoarea existenței unor ritmuri proprii, specifice fiecărui organism care se sincronizează pe frecvența fenomenului periodic exterior. Plaja de sincronizare poate atinge valori de cîteva ore, așa cum se observă, de exemplu, la broaștele țestoase la care perioada bioritmurilor de activitate variază individual între 21,1 și 24,7 ore, în condiții de nesincronism, adică de izolare.

Formată, deci, în condițiile unei ritmicități a fenomenelor exterioare de 24 de ore, ritmurile circadiene s-au înscris în patrimoniul genetic al organismelor, analog altor caracteristici morfofuncționale adaptate la mediu. Valorile exacte ale acestor bioritmuri variază — în anumite limite — de la organism la organism, fiind dependente și de valorile parametrilor fizici constitutivi. Este important însă faptul că aceste variații sînt suficient de mici pentru a permite sincronizarea bioritmului pe frecvența oscilatorului extern, adică pentru a nu ieși din plaja de sincronizare.

Faptul că bioritmurile au un caracter endogen, ereditar, se evidențiază prin diferite tipuri de experiențe. Astfel, 25 de generații de șobolani, crescuți în condiții de lumină continuă, au continuat să-și desfășoare ritmic activitatea nocturnă (căutarea și consumul hranei).

În ceea ce privește modul de formare a bioritmurilor, reproducem în cele ce urmează părerea unui cercetător care s-a preocupat îndelung de aceste probleme[1]. „Este probabil că primele forme de viață, pe lîngă o serie de însușiri de bază (posibilitatea de a asimila anumite substanțe din mediu, capacitatea de a se reproduce etc.), posedau și o anumită ritmicitate elementară și nediferențiată, cu caracter spontan. Perioadele acestei ritmicități puteau fi diferite, avînd în același timp și o stabilitate redusă. Dar procesele metabolice și fiziologice ale organismelor primitive, atît de strîns dependente

[1] Al. Lungu, *op. cit.*, p. 31–32.

Scanned with OKEN Scanner

de energia solară, nu puteau rămîne indiferente faţă de un fenomen ca alternanţa zilelor şi a nopţilor. Sub influenţa atît de regulat repetată a acestei alternanţe, ritmicitatea elementară şi spontană a organismelor vii a fost nevoită să se organizeze, treptat, în sensul stabilirii unei concordanţe cît mai apropiate de periodicitatea astronomică de 24 de ore. Astfel, o bună parte din capacitatea materiei vii de a desfăşura mişcări ritmice a fost polarizată, restructurată şi stabilizată într-o periodicitate cotidiană şi a dat naştere bioritmului circadian — orologiul biologic cel mai răspîndit şi mai complex. În acest fel, plantele şi animalele au învăţat, din punctul de vedere al unei adaptări optime la mediu, să măsoare mai bine şi mai util timpul".

Modul în care bioritmurile s-au înscris în genofond pentru a deveni ereditare este, ca şi în cazul altor caractere adaptate, o problemă deschisă care a fost discutată mai pe larg în cap. 3.4.1.

Cu toate că alternanţa zilelor şi a nopţilor reprezintă fenomenul natural ciclic cu cea mai mare influenţă asupra funcţionării organismelor, determinînd formarea unui mare număr de bioritmuri circadiene, şi alte fenomene astronomice au dus la sincronizări de bioritmuri. S-au pus astfel în evidenţă fenomene biologice al căror ciclu coincide cu acela al fazelor lunii, succesiunii anotimpurilor sau intensificării activităţii magnetice solare.

Deosebit de interesante sînt ritmurile proprii ale organismului omenesc, ierarhizarea şi controlul lor de către un centru încă nelocalizat din cadrul sistemului neuro-hormonal.

Existenţa ritmurilor cerebrale α, β, γ, δ, variabile în funcţie de starea de activitate a organismului, a atras în mod deosebit atenţia cercetătorilor, atît ca mijloc de a descifra funcţionarea celui mai complex sistem de transmitere şi prelucrare a informaţiei — creierul — cît şi ca mijloc de diagnosticare a unor stări patologice.

Originea undelor cerebrale şi stabilirea lor pe frecvenţele joase de la cîţiva Hz la cîţiva zeci de Hz sînt probleme nerezolvate. În această privinţă, un specialist din domeniul telecomunicaţiilor, preocupat de explicarea fenomenelor psihice de transmisie şi prelucrare a informaţiei, releva „coincidenţa surprinzătoare între frecvenţa ritmului α, de 8—10 Hz, şi frecvenţa proprie de oscilaţie a sistemului pămînt-ionosferă, care e de 8 Hz (undele Schumann), coincidenţă care ar putea da de gîndit oamenilor de ştiinţă. Ea poate fi explicată

Scanned with OKEN Scanner

printr-un fenomen de sincronizare şi apoi de adaptare şi morfogeneză legat de existenţa oscilaţiilor electrice ale sistemului pămînt-ionosferă"[1].

Ideea deschide un larg cîmp de meditaţie asupra interdependenţei dintre organism şi mediu. Căci sincronizarea ritmului α pe frecvenţa rezonatorului pămînt-ionosferă nu mai rezultă dintr-o influenţă cu valoare funcţională directă, cum ar fi aceea a energiei solare, care determină ritmurile circadiene. Ar fi vorba acum de influenţa cîmpului electromagnetic extern asupra oscilatorului intern, adică de o sincronizare în sensul tehnic al termenului. Prin aceasta s-ar evidenţia un alt tip de legătură între sistem şi mediu care ar putea explica multe dintre fenomenele paranormale ce rezistă încă cunoaşterii ştiinţifice.

Dealtminteri, nenumărate probleme se ridică în legătură cu funcţionarea acestor „oscilatori" interni care guvernează funcţionarea creierului sau a inimii: localizarea lor, modul în care se face convertirea energiei de „alimentare" în energie „oscilantă", parametrii fizici care determină frecvenţa de oscilaţie, condiţiile în care oscilaţiile se pot sincroniza pe frecvenţa unui oscilator extern (tehnic sau biologic) etc.

Experienţe recente au pus în evidenţă posibilitatea omului de a-şi comanda, prin efort volitiv, o serie de ritmuri interne ca ritmul cardiac, starea de somn sau de veghe, ritmurile cerebrale. Reproducem, dintr-o lucrare de pionierat în acest domeniu[2], următorul pasaj:

„... descoperirea că omul îşi poate controla starea cerebrală a apărut aproape accidental, ca un produs secundar al unei cercetări cu scop diferit. În 1958, Dr. Joe Kamiya conducea o cercetare asupra somnului, cînd s-a hotărît să încerce o experienţă neobişnuită.

... Kamiya a conectat un subiect uman la un electroencefalograf situat la distanţă şi a plasat subiectul într-o cameră întunecoasă. Subiectului i s-a spus că un clopot va suna la diferite intervale de timp, uneori cînd el are ritm alfa, alteori cînd nu are. Sarcina lui era de a ghici în ce stare se află (cu ritm alfa, sau fără). De fiecare dată cînd ghicea, i se comunica

---

[1] Gh. Cartianu, *Model de sistem de transmiste a informaţiei, aplicabil la o clasă largă de sisteme de comunicaţie*, Comunicare la sesiunea ştiinţifică a Academiei R.S.R., apr. 1971.

[2] M. Karlins, L. Andrews, *Biofeedback*, Warner Paperback Library Edition, U.S.A., 1974.

Scanned with OKEN Scanner

răspunsul corect. În prima zi, el a ghicit corect doar în proporţie de 50% — raportează Kamiya — nu mai bine ca din întîmplare. În ziua a doua, el a ghicit corect în proporţie de 65%, iar în a treia zi, 85%. În a patra zi el a ghicit corect la fiecare încercare, de 400 de ori în şir.

Kamiya a repetat experienţa cu unsprezece subiecţi diferiţi. Rezultatele sale, pe lîngă confirmarea experienţei iniţiale, au furnizat şi o surpriză. Nu numai că omul poate învăţa să identifice stările alfa sau nonalfa, dar devine capabil să-şi controleze starea cerebrală astfel încît să producă şi să întreţină oricare din aceste stări, la comandă.

... În decada ce a urmat de la experienţa de pionierat a lui Kamiya, cercetările asupra controlării undelor cerebrale s-au intensificat. Nu numai undele alfa dar şi beta, theta şi chiar delta au putut fi produse şi oprite prin comenzi volitive, cel puţin în laborator. ...Tehnica de bază, rămîne aceeaşi: impulsurile undelor cerebrale, care exclud, în mod normal, starea conştientă, sînt transmise prin electrozii electroencefalografului, amplificate şi în sfîrşit transformate în lumină, sunet sau alt semnal accesibil simţurilor. Odată concentrat pe sine însuşi, aproape oricine poate învăţa să-şi identifice undele cerebrale şi, în scurt timp, să le controleze".

Prin urmare, oscilatorii interni pot fi comandaţi nu numai din exteriorul, ci şi din interiorul sistemului. Dacă sincronizarea pe o frecvenţă exterioară se încadrează în procesul general de adaptare a organismului la mediu, autocomanda ritmurilor interne este un fenomen de tip nou. El ne arată, analog fenomenelor telepatie sau de telekineză (comanda cerebrală a deplasării sau deformării obiectelor), că procesele psihice determină apariţia unui cîmp energetic (electromagnetic sau de altă natură), capabil de a comanda frecvenţa unui oscilator de a transmite informaţia sau de a interacţiona cu corpurile materiale înconjurătoare.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 4

ÎNVĂȚAREA

4.1. Adaptarea structurală și adaptarea comportamentală Rolul prelucrării informației

Un sistem biologic este supus, în permanență, acțiunii unei mari varietăți de stimuli din mediul exterior. Prin intermediul organelor de simț, aceștia determină senzații, care se propagă sub forma unor influxuri nervoase spre centrii nervoși superiori unde, integrate, determină elaborarea unei reacții sau răspuns. Dar, existența acestui mecanism complex de interacțiune dintre sistem și mediu este rezultatul unei lungi evoluții.

În forma ei primitivă, interacțiunea dintre sistem și mediu se desfășura într-o formă mult mai simplă, mai directă. Excitabilitatea, însușire fundamentală a viului, a determinat din partea organismului, oricît de simplu, reacții la anumite condiții exterioare: metabolismul celulei variază cu temperatura, sinteza de proteine depinde de calitățile nutritive ale mediului etc. Sînt forme simple de *adaptare* a organismului la mediu adică de modificare a funcționării și structurii sale în funcție de condițiile mediului, în scopul menținerii parametrilor sistemului la o valoare optimă.

După cum s-a văzut în capitolul precedent, mecanismul adaptării ia forme diferite, manifestîndu-se la scară ontogenetică prin reacții imediate, reversibile, sau la scară filogenetică, prin jocul mutațiilor și al selecției naturale.

Indiferent de mecanismul prin care se manifestă, adaptarea înseamnă o modificare — temporară sau definitivă — de structură, care permite o mai bună funcționare a organismului în condițiile mediului. Căci modificarea structurală determină

Scanned with OKEN Scanner

o modificare funcţională, aceasta din urmă, la rîndul ei, influenţînd structura organismului.

Structura şi *funcţiunea* unui sistem (biologic sau tehnic) sînt două entităţi corelate, prima fiind determinantă, iar cea de a doua determinată. Dar în orice relaţie cauzală, cauza determină efectul, iar acesta, la rîndul său, reacţionează asupra cauzei care l-a produs. Tot astfel, funcţionarea îndelungată a unui organism într-o anumită direcţie poate duce la o modificare structurală a acestuia.

Modificările structurale şi funcţionale care apar ca răspuns la modificarea condiţiilor de mediu se datoresc proprietăţii de *adaptare*. Dar, pe măsura evoluţiei lor, sistemele biologice şi-au lărgit progresiv posibilităţile de comunicare cu mediul, recepţionînd o varietate mai mare de stimuli, în paralel cu complexificarea organismului însuşi. A luat naştere o structură destinată special coordonării acestei funcţionări complexe şi prelucrării semnalelor purtătoare de informaţie din mediul exterior. Această structură, sistemul nervos, a permis trecerea de la o funcţionare rigidă, programată genetic, la o funcţionare din ce în ce mai liberă. Comportamentul animalului s-a eliberat treptat de automatismul tiparelor moştenite pentru a asculta de comenzile venite ad-hoc de la centrii nervoşi de prelucrare a informaţiei. Tributar încă speciei sale, individul începe să-şi cucerească progresiv autonomia. Aceasta îi asigură o eficacitate şi o versatilitate mult mai mare în lupta împotriva mediului.

Libertatea şi varietatea comportamentală pe care le asigură existenţa unui centru de comandă cu posibilităţi de prelucrare a informaţiei grăbesc şi ridică pe o treaptă nouă realizarea concordanţei dintre organism şi mediu. Organismul testează proprietăţile mediului şi îşi modifică în consecinţă acţiunile, pentru a răspunde cît mai adecvat. Răspunsurile bune sînt înregistrate în memorie, pentru a servi în viitor, în situaţii similare. Răspunsurile greşite sînt modificate şi corectate progresiv pentru a duce la rezultate cît mai bune. Animalul îşi *adaptează* astfel *comportamentul* la un mediu variabil şi necunoscut pentru a-şi atinge scopurile. Scopul fundamental rămîne în continuare supravieţuirea şi optimalizarea funcţionării, dar metoda de atingere a scopului este alta. Ea constă în a *învăţa* din experienţă: animalul învaţă să răspundă mediului şi să modifice mediul.

Învăţarea este o proprietate fundamentală a sistemelor biologice. Ea duce la o modificare de comportament şi la o

Scanned with OKEN Scanner

înregistrare de scheme și concepte. În toate cazurile, învățarea este asociată cu modificări structurale ale unor centri sau circuite neuronale.

Adaptarea comportamentală rezultată prin învățare este solidară cu modificările structurale ale sistemului nervos, pe baza unui proces de condiționare reciprocă: mici modificări structurale favorizează anumite manifestări comportamentale iar acestea, prin repetare, întăresc modificările inițiale.

Se observă că în procesul de învățare transformarea informației în organizare structurală este mult mai evidentă decît în cadrul procesului de adaptare. În adaptare, rolul mediului este de a corecta sau selecta anumite modificări structurale în sensul favorabil organismului, așa cum s-a văzut în capitolul precedent: mediul *informează* sistemul asupra organizării structurale celei mai adecvate, tocmai prin selecția pe care o exercită, precum și prin alte căi, încă necunoscute.

În cadrul procesului de învățare, semnalele de eroare — mult mai variate și mai complexe — sînt recepționate de sistemul nervos, interpretate, iar pe baza lor se elaborează comenzile ce determină *răspunsul* sistemului. Fiecare răspuns este confruntat din nou cu mediul pentru a se aprecia eficacitatea *rezultatelor* obținute și a se modifica în mod corespunzător comenzile. După un mare număr de asemenea *confruntări* cu mediul rezultă o anumită structurare a sistemului nervos, anumite *configurații neuronale* (stabilite prin învățare) care se înregistrează în memorie pe o durată mai mare sau mai mică. Ele reprezintă substratul material al adaptării comportamentale.

Psihologii au abordat studiul sistemelor instruibile biologice — de la cele mai simple pînă la om — prin manifestările exterioare, comportamentale ale acestor sisteme. Neurologii au urmărit modificările corespunzătoare în structura nervoasă, instruibilă[1]. Matematicienii au elaborat modele cantitative ale procesului de învățare. Informaticienii au analizat modul de prelucrare a informației. Tehnicienii au căutat să realizeze pe cale artificială astfel de sisteme: cu dispozitive specializate sau prin programarea calculatoarelor. Astfel de realizări au un interes conceptual și se dovedesc utile pentru om în activitatea sa practică.

---

[1] A. Kreindler, V. Apostol, *Creierul și activitatea mintală*, Editura științifică și enciclopedică, București, 1976.

Scanned with OKEN Scanner

4.2. Date psihologice şi neurologice asupra procesului de învăţare

Ca fenomen psihic învăţarea a intrat în atenţia cercetătorilor de-abia în secolul nostru.

Instruirea primitivă este descrisă ca un proces ce se manifestă începînd de la animalele inferioare şi constă în modificarea acţiunilor prezente datorită experienţei trecute. Astfel, o învăţare elementară, de tipul condiţionării, a putut fi pusă în evidenţă chiar la protozoare, deşi ele nu au un sistem nervos diferenţiat. Piaget[1] citează experienţele făcute cu parameci, ţinuţi într-un vas, jumătate luminat, jumătate întunecat; la început, animalele circulă în tot vasul. În partea a doua a experienţei partea luminată este încălzită şi cea întunecată rămîne rece. Paramecii învaţă această asociaţie, căci, chiar după egalizarea temperaturilor, ei caută cu predilecţie zona obscură.

Majoritatea autorilor insistă asupra schemelor senzori-motoare care se formează în timpul învăţării. Astfel, Hull[2] susţine că instruirea constă în întărirea anumitor conexiuni receptor-efector din totalitatea celor moştenite, sau în crearea unor conexiuni noi, în funcţie de condiţiile mediului. La rîndul său Thorpe defineşte instruirea ca un proces care produce schimbări adaptive în comportarea individuală ca rezultat al experienţei (spre deosebire de schimbările provocate de oboseală, adaptare senzorială sau intervenţii chirurgicale). El arată că instruirea se formează pe baza unei „funcţii întăritoare" ce diferenţiază răspunsurile corecte de cele incorecte. Este deci un proces selectiv care constă în selectarea, de către animal, a acţiunilor de utilitate maximă. Pe aceeaşi linie de cercetare, Hilgard[3] este de părere că învăţarea este procesul prin care o activitate apare sau se modifică în urma antrenării.

Formarea reflexului condiţionat constituie un aspect fundamental al învăţării. Pavlov era de părere chiar că orice învăţare se reduce la reflexe condiţionate. În experienţele sale clasice de condiţionare instrumentală, animalul învaţă să obţină o recompensă sau să se ferească de o pedeapsă, efectuînd o anumită mişcare (de ex. apăsare pe un buton) la

---

[1] J. Piaget, *Biologie şi cunoaştere*, Editura Dacia, Cluj, 1971.
[2] W. Hull, *Principles of Behaviour*, Wiley, New York, 1943.
[3] Hilgard, E. R., *Teorii ale învăţării*, trad. l. engleză, Ed. didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1947.

Scanned with OKEN Scanner

apariția stimulului condiționat, care a fost asociat de mai multe ori cu răsplata sau pedeapsa respectivă.

Învățarea se manifestă și poate fi studiată nu numai în ceea ce privește formarea reflexelor simple ci și în deprinderea și perfecționarea unor activități complexe. Astfel, de exemplu, în experiențele cu labirintul, animalul învață prin încercări și erori să găsească drumul spre mîncare și o face din ce în ce mai bine, în sensul că pînă la urmă, alege drumul cel mai scurt. S-a experimentat cu labirinte de diverse complexități; viermii și melcii au învățat drumul numai în labirintul în T (cel mai simplu) în timp ce furnicile, peștii, broaștele, șerpii, păsările și un mare număr de mamifere s-au descurcat în labirinte mai complicate. În ceea ce privește omul, se constată că, prin învățare, el dobîndește o îndemînare din ce în ce mai mare în activități motrice (a bate la mașină, a cînta dintr-un instrument muzical, a conduce un vehicul etc.) sau verbale (a recita, a cînta etc.).

Deprinderea sau perfecționarea unei activități prin învățare este un proces complex care implică în formele sale superioare procese de discriminare sau de percepție, de observare a fenomenelor mediului înconjurător, de imitare și memorare. Prin prelucrarea informației dobîndite în urma experiențelor succesive, animalul își formează o reprezentare a mediului în funcție de care își organizează activitatea. În felul acesta, răspunsurile sale devin din ce în ce mai puțin întîmplătoare, din ce în ce mai coordonate, în vederea rezolvării cu succes a problemei respective. Spre deosebire de învățarea treptată, prin încercări succesive, se observă, uneori, o învățare bruscă, bazată pe *intuirea* relațiilor semnificative ale situației date (insight, în lb. engleză).

Pentru exemplificare vom considera cazul cînd o maimuță trebuie să ajungă la o banană atîrnată de tavan; prin încercări ea poate aranja în mod convenabil lăzile pe care le are la dispoziție, sau poate găsi dintr-o dată soluția. Intuiția sub forma ei pură se întîlnește în special la omul adult. La animale și copii ea este precedată de o serie de încercări prin care se culege informație asupra desfășurării procesului.

La omul adult, învățarea este mult facilitată de posibilitatea explorării mentale a soluțiilor unei probleme, pe baza unor raționamente logice. Prin aceasta timpul afectat „încercărilor și erorilor" se scurtează iar informația acumulată din experiențele anterioare poate fi utilizată mai eficient în situații noi. Observarea și imitarea joacă de asemenea un rol

Scanned with OKEN Scanner

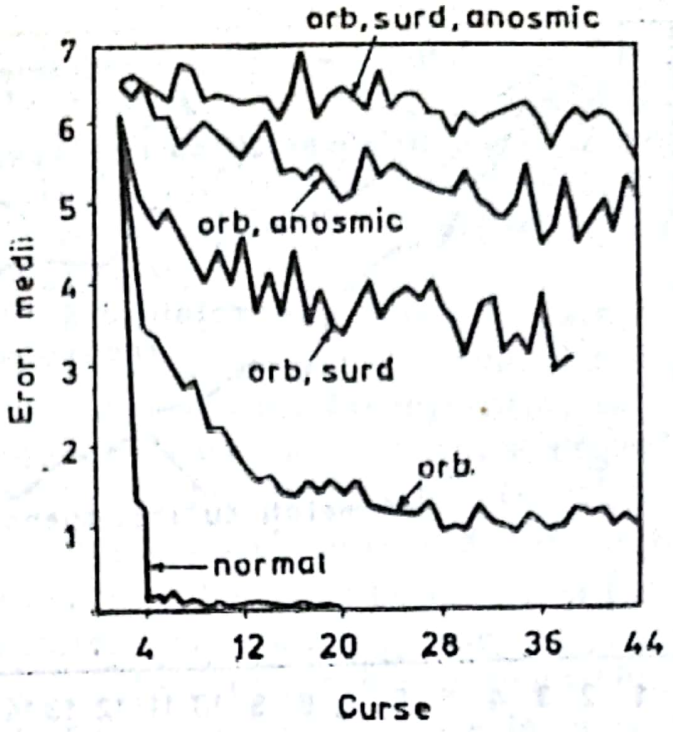


Fig. 4.1

important în învăţarea umană. Copilul învaţă să vorbească prin imitarea sunetelor produse de cei din jur. Ulterior, limbajul va avea un rol fundamental în învăţarea diferitelor activităţi.

Pentru a pune în evidenţă, în mod cantitativ, evoluţia procesului de învăţare, s-au trasat curbe, pe baza datelor experimentale, avînd în abscisă numărul de încercări şi în ordonată numărul mediu de erori[1]. Modificînd condiţiile experienţei, s-a putut determina influenţa diverşilor factori — subiectivi şi obiectivi — asupra învăţării. S-a văzut astfel care este importanţa unei stimulări senzoriale corecte, efectuînd experienţe cu animale private de o parte din simţuri. În fig. 4.1 s-a reprezentat variaţia erorilor comise de diverşi şobolani în experienţa cu labirintul. Se observă că pentru şobolani normali media erorilor tinde spre zero, începînd cu încercarea a patra, iar, pe măsură ce animalului îi lipsesc mai multe simţuri, media erorilor se menţine ridicată chiar şi după douăzeci, treizeci de încercări.

Importanţa motivaţiei şi a recompensei a fost pusă în evidenţă efectuînd experienţa labirintului cu şobolani înfometaţi şi neînfometaţi, fiecare categorie fiind răsplătită sau

[1] N. Munn, *Psychology*, Houghton Mifflin Company, Boston, 1967.

Scanned with OKEN Scanner

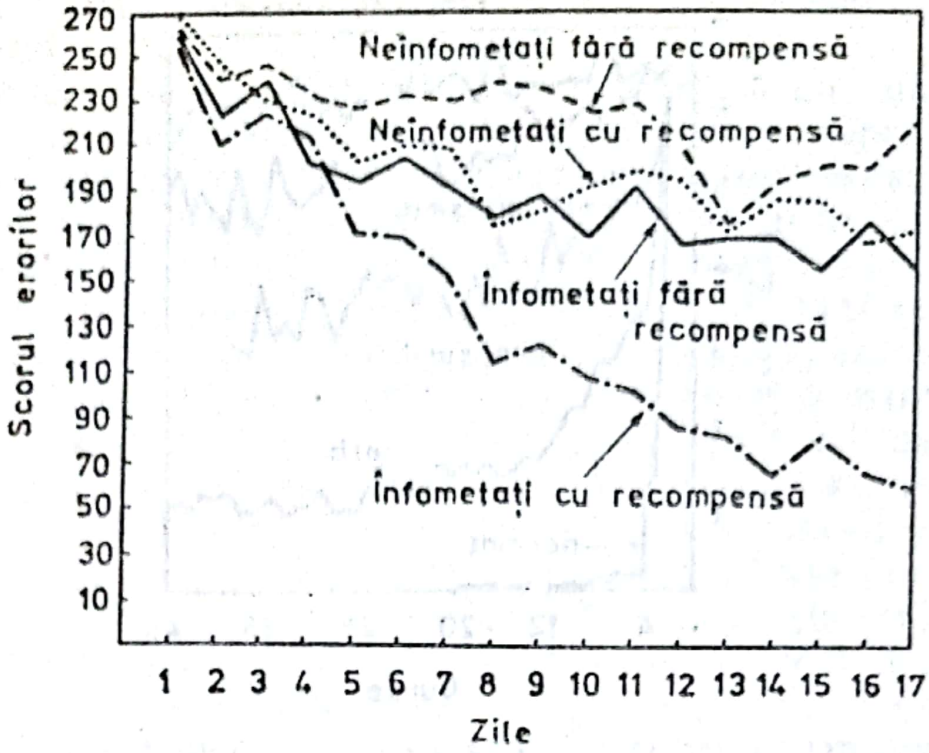


Fig. 4.2

nerăsplătită. Din grafice (fig. 4.2) se observă că cel mai repede învață șobolanii înfometați care au fost răsplătiți. Pe de altă parte, s-a constatat că învățarea prin răsplată este mai rapidă decît învățarea prin pedeapsă. Se observă însă că și șobolanii nerăsplătiți învață ceva, ceea ce confirmă existența unei *învățări latente*.

Alți factori care influențează învățarea umană sînt: cunoașterea rezultatelor, starea de competiție sau rivalitate, aprecierea socială, intenționalitatea. Evident, valoarea acestor factori variază de la individ la individ.

În ceea ce privește mecanismul intrinsec al învățării, unii psihologi sînt de părere[1] că prin repetare și întărire se acumulează, în mod gradat, o *forță a obișnuinței* (*H*), determinată de activarea simultană a unor grupuri receptoare-efectoare; răspunsul (*R*) se produce mai mult sau mai puțin automat atunci cînd stimulii *S* excită regiunea neurală corespunzătoare lui *H*. Diagrama *S-H-R* este definită ca „un raport dinamic precis între impulsurile neurale aferente și eferente". Alți autori consideră că ceea ce se învață este *semnificația* stimulilor, adică relația spațială dintre obiecte pe baza cărora subiectul își elaborează un *plan cognitiv*; răspunsul corect se datorește nu

[1] Hull, *Principles of Behaviour*, Wiley, 1943.

unei legături neurale receptor-efector, ci prelucrării informației și elaborării unei decizii. Este probabil, așa cum arată Munn[1], că ambele aspecte ale învățării sînt valabile: „pe măsură ce situațiile de instruire devin mai complexe este mai probabil ca reflexele, în loc să se producă automat, să fie influențate de factori impliciți ca *hărțile cognitive* accentuate de teoria lui Tolman".

Se pare că învățarea la animalele evoluate, și în special la om, se bazează în mare măsură pe acumularea și prelucrarea informației sosite din mediul înconjurător, ca urmare a interacțiunii permanente care are loc între organism și mediu. Aceasta este învățarea latentă, care se transformă în învățare activă sub influența motivației și a întăririi.

În studiile neuro-psihologice pe care le-a făcut asupra procesului de învățare, Hebb[2] distinge, de asemenea, două tipuri de învățare: o învățare primară sau primitivă (de exemplu reflexul condiționat) care se întîlnește la orice nivel în scara filogenetică și o învățare conceptuală de care sînt capabile doar speciile evoluate, în speță primatele și omul. Hebb aduce probe experimentale în favoarea tezei că învățarea primitivă este mai lentă la speciile evoluate și caută o explicație de ordin neurologic pentru acest fenomen; el stabilește chiar o relație între durata învățării primitive și raportul A/S, în care A reprezintă aria asociativă a cortexului și S ariile proiecțiilor senzoriale. Acestea din urmă se află sub acțiunea directă a mediului înconjurător și dacă suprafața lor este mare față de aria asociativă învățarea este rapidă. Dimpotrivă, dacă aria asociativă este mare față de ariile proiecțiilor senzoriale, ceea ce este specific speciilor evoluate, învățarea va fi mai lentă. În orice caz, învățarea primitivă reprezintă perioada stabilirii primului reglaj exercitat de mediu asupra ariilor asociative și indirect asupra comportamentului.

Analizînd modificarea capacității de învățare în cursul ontogenezei, Hebb arată că ea este strîns legată de *dezvoltarea conceptuală*; aceasta presupune asocierea în diverse moduri, a unor elemente perceptuale dobîndite prin experiență, astfel încît, la solicitări ulterioare ale mediului, învățarea răspunsurilor corecte să fie mult ușurată de organizarea conceptuală preexistentă. În cadrul *învățării conceptuale*, conexiunea dintre stimul și răspunsul motor se face prin intermediul activității

---

[1] N. L. Munn, *op. cit.*, pag. 42.
[2] O. Hebb, *The Organization of Behaviour*, Wiley, New York, 1949.

Scanned with OKEN Scanner

centrale. În formarea și memorarea conceptelor, limbajul joacă un rol important, ceea ce explică capacitatea de învățare deosebită a omului.

Învățarea ar fi deci o *asimilare* a unor situații stimulatoare noi la scheme preexistente (înnăscute sau dobîndite) sau, în cazul unor sisteme instruibile evoluate, o *asimilare diferențiată* care duce la inventarea de noi reacții.

Neurofiziologia a căutat să pună în evidență modificările care apar în rețeaua nervoasă în urma învățării. Problema nu este încă elucidată dar s-au avansat unele ipoteze privind modificările pragurilor neuronale, ale nivelului de saturație sau a constantelor de timp ale neuronilor, modificări datorate repetării în timp a unor scheme senzorimotorii, *utile* organismului. Aprecierea *utilității* unei acțiuni se face în funcție de starea de plăcere sau neplăcere pe care aceasta o generează. În general, acțiunile care contribuie la satisfacerea condițiilor de funcționare ale organismului sînt însoțite de o stare de satisfacție sau plăcere, iar cele care prejudiciază bunei funcționări a organismului de o stare de neplăcere. La animalele cu sistem nervos centralizat au putut fi localizați cu precizie în creier acești „centri ai plăcerii" și ai „neplăcerii".

Experiențe efectuate cu șobolani au confirmat existența acestor centri. S-au implantat microelectrozi în zonele respective, iar animalul a fost închis într-o cușcă avînd posibilitatea de a apăsa pe diferite clape. Dintre aceasta, una declanșează printr-un circuit electric excitarea zonei de plăcere, iar alta a zonei de neplăcere. La început, animalul apasă pe oricare din clape, în mod întîmplător. După cîtva timp, el învață să se ferească de clapa generatoare de neplăcere și să acționeze cu predilecție (în ritm de cîteva mii de excitații pe oră) clapa care îi produce starea de plăcere.

Dezvoltarea aptitudinii de a învăța, la speciile evoluate, a fost pusă în legătură cu dezvoltarea cortexului cerebral și mai ales a regiunilor sale asociative, care condiționează observația, analogia, intuiția, limbajul. Studiile efectuate au pus în evidență: *a*) legătura care există între învățare și cantitatea de țesut cortical și *b*) legătura dintre învățare și localizarea unei pierderi specifice de țesut cortical. În fig. 4.3 se reprezintă diverse curbe de instruire în funcție de suprafața *leziunilor* cerebrale și pentru procese de instruire cu diferite grade de dificultate. Experiențele au fost efectuate cu șobolani cărora li s-a extirpat o parte a țesutului cortical. Se observă că leziunile cerebrale afectează cu atît mai mult desfășu-

Scanned with OKEN Scanner

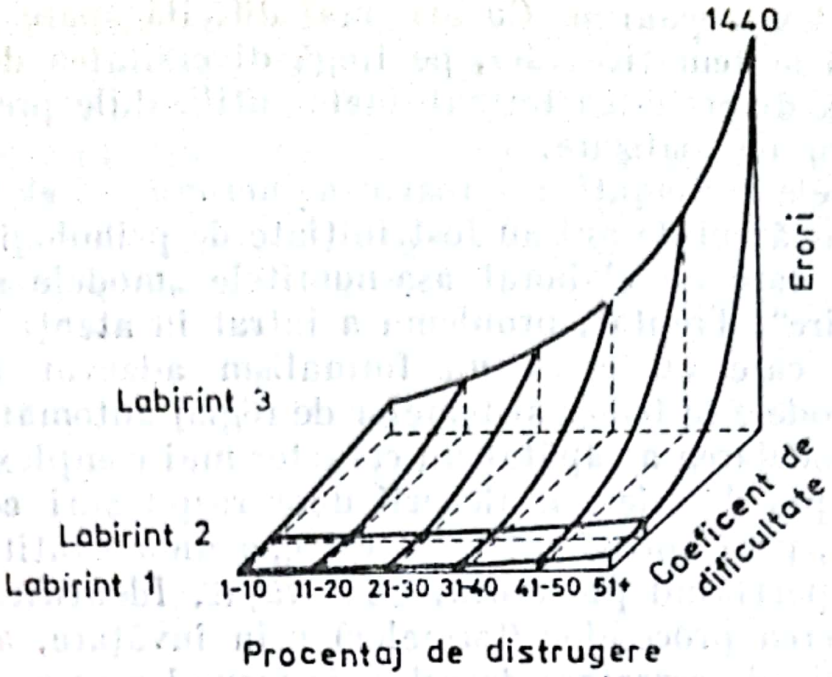


Fig. 4.3

rarea procesului de învăţare, cu cît acesta este mai complex (labirintul nr. 3), şi foarte puţin procesele simple (labirintul nr. 1).

Lashley a scos în evidenţă importanţa funcţiilor asociative şi integrative ale cortexului în instruirea complexă. Rezultă că aptitudinea de a învăţa se dezvoltă atît filogenetic cît şi ontogenetic, fiind corelată cu dezvoltarea capacităţii de prelucrare a informaţiei, adică a inteligenţei.

Aşa cum remarcă şi Piaget[1] „studiul cuceririlor senzorimotorii ale sugarului, pînă la desăvîrşirea unei inteligenţe senzoriomotorii capabile de *insight*-uri sau de combinări noi şi instantanee, explică în mod remarcabil continuitatea procesului de învăţare, pornind de la procesul cel mai elementar, şi arată rolul permanent al acestor activităţi asimilatoare, care par a fi comune nu numai animalelor şi omului, ci tuturor nivelelor funcţiilor cognitive".

4.3. Modele matematice ale învăţării

După cum s-a văzut, procesul de învăţare poate fi descris în diverse moduri, corespunzător diverselor aspecte ale aces-

[1] J. Piaget, *op. cit.*, p. 273.

Scanned with OKEN Scanner

tui complex mecanism. Cu atît mai dificilă apare problema modelării matematice căci, pe lîngă diversitatea de aspecte, se adaugă diversitatea formalismelor utilizabile precum și a domeniilor de utilizare.

Modelele matematice — foarte numeroase — elaborate în ultimii douăzeci de ani au fost inițiate de psihologi și matematicieni care au elaborat așa-numitele „modele stocastice de instruire". Treptat, problema a intrat în atenția automaticienilor care au creat un formalism adecvat integrării acestor modele în teoria sistemelor de reglaj automat. În felul acesta, modelarea a căpătat un caracter mai complex, trecînd de la simpla descriere a alegerii unor răspunsuri corecte la estimarea, prin aproximații succesive, a unor cantități necunoscute aparținînd procesului de învățat. Identificarea, sau recunoașterea proceselor (formelor) prin învățare, a devenit un domeniu de cercetare deosebit de fecund care a îmbogățit teoria învățării cu numeroase modele matematice.

La un anumit nivel de generalitate, orice învățare apare ca un proces de clasificare sau recunoaștere care realizează o aplicație a mulțimii stimulilor informaționali în mulțimea deciziilor utile.

În cadrul modelelor stocastice[1,2] instruirea este privită ca o succesiune de alegeri între diferite răspunsuri posibile. Se presupune că un mecanism probabilistic guvernează selectarea răspunsurilor iar modelele elaborate urmăresc să descrie schimbările care au loc, de la o încercare la alta, în probabilitatea răspunsurilor.

Elementele unui model stocastic de instruire sînt: secvența de *încercări* $n=1, 2, \ldots N$, mulțimea *răspunsurilor* posibile $A_1 \ldots A_j \ldots A_r$ și mulțimea rezultatelor $R_1, R_2, \ldots R_3$. Fiecare pereche răspuns-rezultat constituie un eveniment experimental E_k. Pe mulțimea răspunsurilor se definește o distribuție de probabilități $p_{i,n}(1), \ldots p_{i,n}(j), \ldots p_{i,n}(r)$ corespunzătoare subiectului $i=1, 2, \ldots I$ și încercării a n-a.

Probabilitățile răspunsurilor formează un vector cu r elemente. În majoritatea exemplelor studiate $r=2$ (două răspunsuri posibile) și $p_n(1)=1-p_n(2)$ ceea ce permite să se reducă secvența de vectori la o secvență de scalari, $p_1, \ldots \ldots p_n, \ldots$

---

[1] R. Bush și F. Mosteller, *Stochastic Models for Learning*, Wiley, New York, 1955.

[2] R. Bush și W. Estes, *Studies in Mathematical Learning Theory*. Stanford University Press, Stanford, 1959.

Scanned with OKEN Scanner

Evaluarea modelelor constă în gradul de potrivire cu realitatea adică în compararea prezicerilor (curba de instruire, diferite statistici) cu datele furnizate de experienţă.

Un exemplu de experienţă cu două rezultate posibile este aşa-numitul „labirint în T" în care un şoarece este pus să alerge pentru a-şi găsi mîncarea. Experienţa este sintetizată în tabela de mai jos în care apar cele 4 evenimente posibile:

Evenimente	*Răspuns*	*Rezultate*
E_{11}	A_1: alege braţul drept	R_1: găseşte mîncare
E_{22}	A_2: alege braţul stîng	R_2: nu găseşte mîncare
E_{12}	A_1: alege braţul drept	R_2: nu găseşte mîncare
E_{21}	A_2: alege braţul stîng	R_1: găseşte mîncare

Se observă că evenimentul A_1R_1 are acelaşi efect ca şi A_2R_2 întărind probabilitatea răspunsului A_1. De asemenea A_1R_2 este echivalent cu A_2R_1. Datorită echivalenţei, numărul de evenimente ale experimentului s-a redus de la patru la două: $E_1=(E_{11}, E_{22})$ şi $E_2=(E_{12}, E_{21})$.

Dacă se notează cu p probabilitatea răspunsului A_1 şi cu q cea a răspunsului A_2, întrucît sînt numai două răspunsuri posibile, avem $q=1-p$ iar E_1 şi E_2 sînt evenimente complementare (unul duce la întărirea lui p şi celălalt la întărirea lui q).

Obiectivul principal al modelului este descrierea schimbărilor care au loc în probabilităţile răspunsurilor în timpul învăţării. Aceasta se poate face cu ajutorul unor *reguli de tranziţie* sau *operatori* care transformă probabilitatea răspunsului la încercarea a n-a în cea a răspunsului la $n+1$, indiferent de n.

În cazul unui operator liniar se poate scrie:

$$p_{n+1}=Q_k\, p_n = \alpha_k p_n + a_k,$$

în care valorile lui α_k şi a_k sînt determinate de evenimentul E_k.

Parametrul α_k măsoară eficacitatea lui E_k în a altera probabilitatea răspunsului ($0 \leqslant \alpha_k \leqslant 1$). Cînd $\alpha_k=1$, E_k nu schimbă probabilitatea răspunsului şi Q_k este un operator de identitate. Cu cît α_k este mai mic cu atît instruirea progresează mai repede.

O secvenţă de valori ale lui p_n furnizate de model reprezintă o „curbă individuală de instruire" iar aria dintre abscisă

Scanned with OKEN Scanner

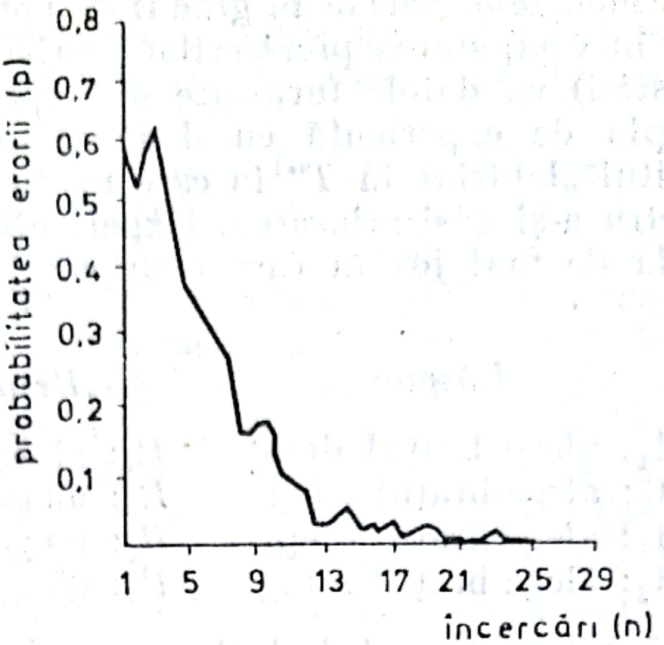


Fig. 4.4

și curbă reprezintă numărul mediu de erori comise de subiect (fig. 4.4).

Modelele stocastice au fost dezvoltate pe larg, efortul matematicienilor constînd în a găsi operatorii care să ducă la curbe de instruire cît mai conforme cu realitatea. Pe de altă parte, aceste modele furnizează o serie de statistici caracteristice procesului de instruire, ca numărul mediu de greșeli la încercarea *n*-a etc.

Treptat, interesul s-a deplasat de la simpla *descriere* matematică a instruirii la găsirea unor algoritmi *funcționali* cu ajutorul cărora sistemele tehnice să poată învăța. Prin acești algoritmi s-au putut modela procese de instruire caracterizate printr-o complexitate mai ridicată[1].

Se consideră schema bloc din fig. 4.5 în care sistemul instruibil este considerat ca fiind format din două părți funcționale principale: un sistem de decizie, care primește informații asupra caracteristicilor necunoscute x ale mediului și elaborează răspunsuri sau acțiuni ω, și dintr-un evaluator de performanță care, pe baza informației primite din mediu în urma unei acțiuni, evaluează calitatea sau performanța

[1] Y. Z. Tsypkin, *Foundations of the Theory of Learning Systems*, Academic Press, New York, 1973.

Scanned with OKEN Scanner

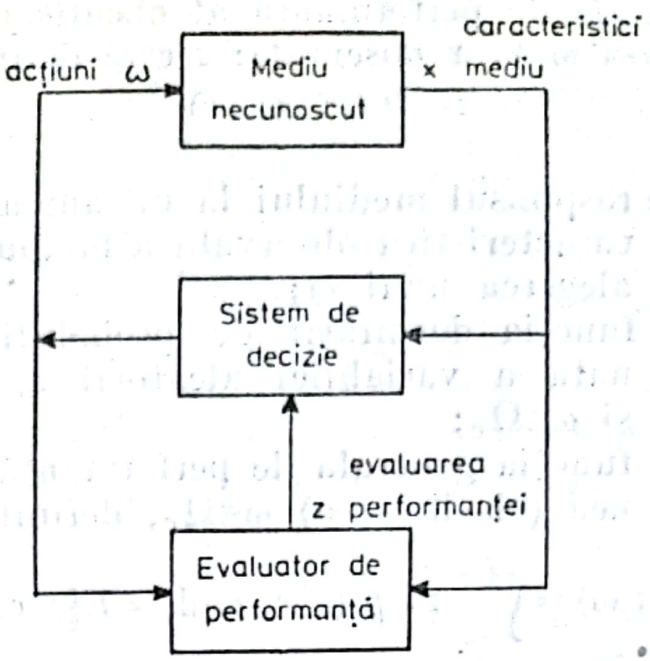


Fig. 4.5

acestei acțiuni și i-o comunică sistemului de decizie, pentru ca acesta să-și ajusteze acțiunile în consecință[1].

În acest caz, problema instruirii într-un mediu staționar, necunoscut, poate fi definită ca o problemă de aproximații succesive a unor cantități necunoscute (coeficienți sau parametri) aparținînd procesului de învățat.

Un caz special de aproximații succesive îl constituie metodele parametrice și neparametrice[2]. Metoda constă în a descompune o funcție într-o serie infinită, convergentă, de termeni simpli și de a micșora treptat eroarea de aproximare prin adăugarea de noi termeni. Fie $\{\Omega_x, F, p\}$, un cîmp de probabilitate, în care:

Ω_x este mulțimea evenimentelor elementare (caracteristici ale procesului de învățat);

$p(x)$ — măsura probabilității pe Ω_x (valoare necunoscută apriori);

$F=\sigma$ — algebra submulțimilor în Ω_x.

Fie Ω_c mulțimea numărabilă a acțiunilor (decizii sau clase), $\omega \in \Omega_c$ o acțiune (necunoscută *apriori*) și $\bar{\omega}$ complementul unei acțiuni ω din Ω_c.

---

[1] K. S. Fu, *Learning System Theory* (cap. 1 din *System Theory* de L. Zadeh și E. Polak, McGraw Hill 1969) New York.

[2] Nils Nilsson, *Learning Machines*, Mc Graw Hill, New York, 1965.

Scanned with OKEN Scanner

Fie z indicele de performanță al clasificării lui x în ω (prezicerea unui ω la x observat); z este definit în funcția:

$$z=\Phi\ (x',\ \omega,\ x)$$

unde:

x' este răspunsul mediului la un anumit ω;

x — caracteristica observată a mediului înainte de alegerea unui ω;

$p(z/x,\omega)$ — funcția densității de probabilitate condiționată a variabilei aleatorii z, pentru $x\in\Omega_x$ și $\omega\in\Omega_c$;

$f(x;\ \omega)$ — funcția generală de performanță pentru acțiunea (clasificarea) $\omega\in\Omega_c$, definită pe Ω_x.

$$f(x;\ \omega)=\int_{-\infty}^{+\infty} z.\ p\ (z/x,\ \omega)\mathrm{d}z=E[z/x,\ \omega],$$

unde prin E s-a notat media sau momentul de ordinul 1.

Instruirea constă în a determina succesiv diferite acțiuni $\omega^*\in\Omega_c$, astfel încît:

$$f(x;\ \omega^*)=\max_{\omega}\{f(x;\ \omega);\ \omega\in\Omega_c\}$$

sau a găsi o măsură a probabilității:

$P(\omega/x)$ pe Ω_x, astfel încît, $P\ (\omega/x)=P\ \{f(x;\ \omega)=$

$$=\max_{\omega} f(x;\ \omega);\ \omega\in\Omega_c\}$$

unde $P\ (\omega/x)$ este probabilitatea ca acțiunea ω, consecutivă observării lui x, să fie corectă, optimală sau recompensată, sau, altfel spus, este probabilitatea ca x observat să aparțină clasei ω.

Dacă $P(\omega)$ e cunoscut $\left(\sum_{\Omega_c} p(\omega)=1\right)$ problema revine la a găsi probabilitatea $p(x/\omega)$ astfel ca

$$\int_{\Omega_c} p(x/\omega)\mathrm{d}x=1$$

și avem

$$P(\omega/x)=\frac{P(\omega)p(x/\omega)}{p(x)}.$$

În general, forma funcției $p(x/\omega)$ este cunoscută, cu excepția unui parametru $\overline{\theta}\in\Omega_\theta$ care se estimează succesiv.

Problema fundamentală a instruirii constă în a determina succesiv pe $f(x;\ \omega)$ sau $p(x/\omega)$, pe baza cunoașterii variabilei

Scanned with OKEN Scanner

$z_n(x_n; \omega)$ $n=1, 2,...$ avînd legea de distribuţie $p(z/x_n,\omega)$ $n=1, 2,...$ unde x_n $(n=1, 2,...)$ este o secvenţă de evenimente elementare distribuite pe Ω_x conform probabilităţii:

$$p(x)=\sum_{\Omega_e} P(\omega)\cdot p(x/\omega).$$

Convergenţa estimaţiei arată că valoarea estimată a cantităţii necunoscute se apropie de valoarea reală, deci că decizia luată se apropie de cea optimală.

Pe aceste considerente au luat naştere diverse metode matematice care urmăresc găsirea unor algoritmi eficienţi (şi dacă se poate, programabili) pentru rezolvarea problemei enunţate mai sus.

Dintre acestea, citãm:

— Modelele cu *algoritme de întărire* (de tip Markov) în care se alocă lui z două valori: $z=+1$ (recompensă) şi $z=0$ (pedeapsă). Sînt valabile relaţiile:

$$f(x; \omega)=E[z/x, \omega]=P\{z=+1/x, \omega\},$$
$$P(\omega/x)=P\{z=+1/x, \omega=f(x; \omega)\},$$

astfel încît, pentru orice $x\in\Omega_x$, să avem

$$\sum_{\Omega_e} P(\omega/x)=1.$$

— Modelele utilizînd *tactica liniară* şi care pot fi descrise tot de relaţiile precedente.

— Instruirea bayesiană care utilizează formula lui Bayes pentru estimarea lui θ.

— Metoda funcţiilor potenţiale.

— Metoda aproximării stocastice.

— Metoda inferenţei inductive.

— Metode euristice ş.a.

4.4. Modele informaţionale ale învăţării

4.4.1. *Învăţarea simplă de tip instrumental*

În acest caz sistemul instruibil poate fi privit ca un sistem de comunicaţie ce primeşte la intrare o serie de semnale (stimuli) şi furnizează la ieşire alte semnale (răspunsuri). Într-un sistem de comunicaţie obişnuit, unui semnal la intrare

îi corespunde un anumit semnal la ieşire care provine din primul după prelucrarea corespunzătoare funcţiei de transfer. În absenţa zgomotului, această corespondenţă este biunivocă. Sistemul instruibil reprezintă un sistem special de comunicaţie, la care corespondenţa semnal de intrare — semnal de ieşire nu e determinată prin construcţie; unui semnal la intrare îi poate corespunde, iniţial, orice semnal la ieşire şi reciproc. În această situaţie prin sistem nu se transmite informaţie. Pe măsura desfăşurării procesului, sistemul se autoorganizează, adică îşi alege singur, din multitudinea de răspunsuri posibile, pe cel adecvat unui anumit stimul. Această alegere necesită însă o informaţie suplimentară asupra proprietăţilor diferitelor conexiuni stimul — răspuns din punct de vedere al eficacităţii lor în atingerea unui scop. Această informaţie, conţinută în rezultatul unui răspuns, este adusă în sistem prin conexiune inversă şi înregistrată în memorie; pe baza ei se formează legătura stimul-răspuns care reprezintă transmiterea de informaţie prin sistem.

Definim deci sistemul instruibil ca un sistem de comunicaţie care îşi măreşte progresiv volumul transmisiei, prin mijloace proprii[1].

Vom analiza în cele ce urmează modul de formare a unei legături stabile între semnalele de intrare şi cele de ieşire; evident, aceasta implică formarea unor conexiuni fizice stabile între diverse părţi ale sistemului, adică o anumită organizare structurală a sa. Acest aspect al problemei necesită un studiu separat; pentru moment vom considera sistemul instruibil ca un „black-box" prevăzut cu intrări şi ieşiri, indiferent de gradul de complexitate a circuitelor sale logice. Considerăm deci schema foarte generală din fig. 4.6 în care se observă existenţa unor mesaje stimulatoare şi de rezultat furnizate de mediu şi a unor mesaje de răspuns furnizate de sistem.

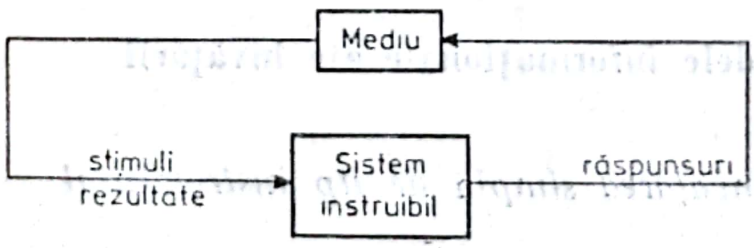


Fig. 4.6

[1] M. Beliş, *Informations theoretisches Lernmodell*, Kybernetik, Band 3, Heft 5, 1967.

Scanned with OKEN Scanner

Prin intermediul traductorilor de intrare, mesajele venite din mediu sînt codate în semnale uşor prelucrabile de către sistem (în general electrice), iar la ieşire un decodificator (sistem de execuţie) asigură transformarea semnalelor din sistem în mesaje recepţionabile de către mediu. Pentru simplificare, vom considera că transmisia este lipsită de perturbaţii şi că, iniţial, sistemul nu are nici un fel de informaţie referitoare la procesul în curs; existenţa unei informaţii iniţiale înregistrată în sistem are drept rezultat că, în teoria expusă, probabilităţile iniţiale ale răspunsurilor nu mai sînt egale.

a) Cîmpuri de evenimente şi de probabilitate în procesul de instruire. Mulţimea semnalelor stimulatoare S formează un cîmp de evenimente finit datorită puterii discriminatoare limitate a oricărui sistem fizic, precum şi a două limite energetice (inferioară şi superioară) în care acesta poate recepţiona semnalele.

Datorită unui proces de filtraj, bazat pe intensitate sau importanţă funcţională, mesajul stimulator principal este selectat de către sistem din ansamblul mesajelor prezentate de mediu.

Mulţimea semnalelor de răspuns A formează un alt cîmp de evenimente finit, datorită posibilităţilor limitate ale sistemului şi condiţiilor de asemenea limitate ale procesului în cauză.

Iniţial, unui semnal stimulator îi corespunde orice semnal de răspuns şi invers, un răspuns poate fi determinat de oricare dintre stimuli. În procesul de instruire, un sistem trebuie să realizeze o corespondenţă biunivocă între stimul şi răspuns. Aceasta se realizează pe baza informaţiei furnizate de un al treilea cîmp de evenimente, format din mulţimea semnalelor de rezultat R. Fiecărui eveniment din mulţimea răspunsurilor îi corespunde un eveniment din mulţimea rezultatelor şi această corespondenţă constituie informaţia care se înregistrează.

Cele trei cîmpuri de evenimente fundamentale în procesul de instruire sînt deci S, A şi R. Ele devin cîmpuri de probabilitate, dacă atribuim fiecărui eveniment un număr nenegativ, probabilitatea sa, corespunzător următoarelor reguli cunoscute (de ex. pentru S):

$p(s_i) \geqslant 0$ pentru orice eveniment $s_i \in S$;

$$\sum_{s_i \in S} p(s_i) = 1;$$

Scanned with OKEN Scanner

$p(s_i \cup s_j) = p(s_i) + p(s_j)$ pentru oricare două evenimente incompatibile $(s_i, s_j) \in S$.

În consecință, există probabilitățile $p(s)$, $p(a)$ și $p(r)$ corespunzătoare evenimentelor elementare s, a și r din S, A și R.

Pe cîmpurile de probabilitate a stimulilor și a răspunsurilor, definim un cîmp de probabilitate produs, ale cărui evenimente elementare sînt formate din toate perechile posibile (s, a) din S și A, cărora le atribuim probabilitățile $p(s, a)$.

Pe cîmpurile de probabilitate a răspunsurilor A și a rezultatelor R, definim un cîmp de probabilitate produs, ale cărui evenimente elementare sînt formate din toate perechile posibile (a, r) din A și R, cărora le atribuim probabilitățile $p(a, r)$.

Probabilitățile $p(s, a)$ și $p(a, r)$ respectă condițiile:

$p(s_i, a_j) \geqslant 0$ pentru orice $(s_i, a_j) \in S \times A$;

$$\sum_{(s_i, a_j) \in S \times A} p(s_i, a_j) = 1,$$

$p(a_i, r_j) \geqslant 0$ pentru orice $(a_i, o_j) \in A \times R$;

$$\sum_{(a, r) \in A \times R} p(a_i, r_j) = 1.$$

Procesul de instruire comportă deci trei cîmpuri de probabilitate fundamentale, $P(S)$, $P(A)$ și $P(R)$ și două derivate din acestea, $P(S, A)$ și $P(A, R)$.

Conținutul de informație a cîmpurilor fundamentale. Conținutul mediu de informație a cîmpului de probabilitate S a tuturor stimulilor s aplicați la intrarea sistemului este egal cu entropia sa $H(S)$ care are expresia:

$$H(S) = -\sum_{s \in S} p(s) \log p(s), \text{ unde}$$

$H(S)$ reprezintă nedeterminarea existentă în cîmpul stimulilor în ceea ce privește aplicarea unuia din ei (sau speranța matematică a variabilei aleatorii $I = -\log p(s)$, care reprezintă informația evenimentului elementar).

Scanned with OKEN Scanner

Asemănător, nedeterminarea existentă în cîmpul răspunsurilor este:

$$H(A) = -\sum_{a \in A} p(a) \log p(a),$$

adică incertitudinea în privinţa alegerii unui răspuns.

În sfîrşit, totalitatea rezultatelor posibile conţine o cantitate de informaţie medie:

$$H(R) = -\sum_{r \in R} p(r) \log p(r).$$

În cele ce urmează, vom analiza cazul celei mai simple experienţe de instruire şi anume, învăţarea răspunsului corect la un stimul dat, cînd experienţa presupune doar două răspunsuri distincte, rezultatele fiind de asemenea reduse la două.

b) **Legătura între semnalele de intrare şi cele de ieşire a sistemului instruibil în momentul iniţial.** Într-un sistem de transmisie obişnuit, cantitatea de informaţie obţinută la ieşire depinde de cantitatea de informaţie introdusă la intrare şi de gradul de perturbaţie existent în sistem. În cazul unui sistem ideal, lipsit de zgomot, identificarea semnalelor la ieşire este lipsită de incertitudine şi informaţia transmisă este maximă.

La sistemele instruibile, la un semnal de intrare dat, incertitudinea în privinţa semnalelor la ieşire este iniţial maximă (chiar în absenţa perturbaţiilor) deoarece un semnal la ieşire poate să provină din orice semnal de intrare şi invers, un semnal de intrare poate determina orice semnal la ieşire. În această situaţie reiese că prin sistem nu se transmite informaţie.

Pentru analiza modului de formare a corespondenţei biunivoce semnal de intrare — semnal de ieşire, vom neglija deocamdată efectul perturbaţiilor şi vom considera sistemul ideal.

Legătura probabilistică între semnalele de intrare şi cele de ieşire se poate reprezenta prin matricea probabilităţilor compuse a cîmpului (S, A). În cazul general a n stimuli la intrare şi m răspunsuri posibile la ieşire, matricea are forma:

$$p(S, A) = \left\| \begin{array}{l} p(s_1, a_1)\ p(s_1, a_2) \ldots\ p(s_1, a_m) \\ p(s_2, a_1) \ldots\ (s_2, a_m) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ p(s_n, a_1) \ldots\ p(s_n, a_m) \end{array} \right\|.$$

Scanned with OKEN Scanner

În cazul particular, $n=1$, $m=2$ matricea devine:

$$p(S,\ A)=\|\ p(s_1,\ a_1)\ \ p(s_1,\ a_2)\ \|\ .$$

Distribuţiile de probabilitate pe cîmpurile componente S şi A pot fi exprimate în funcţie de probabilităţile compuse:

$$p(s_i)=\sum_{a\in A} p(s_i,\ a)=p(s_i,\ a_1)+\ldots+p(s_i,\ a_m),$$

ceea ce reprezintă suma elementelor matricei $p(S,\ A)$ pe linia i.

De asemenea,

$$p(a_j)=\sum_{s\in S} p(s,\ a_j)=p(s_1,\ a_j)+\ldots+p(s_n,\ a_j),$$

ceea ce reprezintă suma elementelor matricei $p(S,\ A)$ pe coloana j.

În momentul iniţial, dacă sistemul nu dispune de nici un fel de informaţie (înregistrată în trecut) asupra legăturii $s-a$, cîmpurile stimulilor şi răspunsurilor sînt statistic independente, deoarece realizarea unui anumit stimul nu influenţează cu nimic probabilitatea realizării unui anumit răspuns. În acest caz, pentru toate perechile de evenimente, s, a, este valabilă relaţia:

$$p(s,\ a)=p(s)\cdot p(a),$$

iar matricea probabilităţilor compuse devine:

$$p(S,\ A)=\|\ p(s_1)\cdot p(a_1)\qquad p(s_1)\cdot p(a_2)\ \|\ .$$

Se ştie că entropia (nedeterminarea) experimentului compus format prin realizarea simultană a cîte unui eveniment din fiecare cîmp independent este egală cu suma nedeterminărilor parţiale

$$H(S,\ A)=H(S)+H(A).$$

Aceasta este valoarea maximă pe care o poate lua entropia $H(S,\ A)$ numită şi entropia de legătură dintre stimuli şi răspuns. De aci reiese, după cum era şi de aşteptat, că în momentul iniţial, această legătură (deci procesul de instruire) este complet nedeterminată.

Deoarece producerea unui eveniment din cîmpul S nu micşorează cu nimic nedeterminarea cîmpului de evenimente A, înseamnă că prin sistem nu se transmite nici o cantitate

Scanned with OKEN Scanner

de informaţie. Aceasta rezultă imediat dacă se observă că probabilitatea condiţionată a evenimentului a în prezenţa evenimentului s este, prin definiţie:

$$p_s(a)=\frac{p(s,\,a)}{p\,(s)}=\frac{p\,(\bar{s})\cdot p\,(a)}{p\,(s)}=p(a)$$

şi, analog,

$$p_a(s)=\frac{p\,(s,\,a)}{p\,(a)}=\frac{p\,(s)\cdot p\,(a)}{p\,(a)}=p(s).$$

Deci condiţionarea nu modifică cu nimic probabilităţile proprii ale acestor evenimente. Entropiile condiţionate vor fi egale cu cele proprii:

$$H_A(S)=H(S),$$

$$H_S(A)=H(A).$$

Conţinutul de transinformaţie medie de la cîmpul A la cîmpul S este:

$$T(SA)=H(A)-H_S(A)=H(A)-H(A)=0,$$

şi bineînţeles nici răspunsul nu ne dă nici o informaţie asupra stimulului

$$T(AS)=H(S)-H_A(S)=H(S)-H(S)=0.$$

c) Transmiterea informaţiei prin conexiunea inversă. La fiecare încercare experimentală de instruire, sistemul primeşte prin conexiunea inversă o informaţie asupra rezultatului unui anumit răspuns. Această informaţie furnizată de mediu se înregistrează în memoria sistemului sub forma unei distribuţii de probabilităţi condiţionate care îşi schimbă în permanenţă conţinutul sub influenţa experienţelor succesive efectuate de subiect.

Legătura între semnalele de răspuns şi cele de rezultat se poate exprima prin matricea probabilităţilor compuse ale cîmpului $(A,\ O)$. În cazul general a m răspunsuri şi r rezultate:

Scanned with OKEN Scanner

$$p(A,\ R)=\left\|\begin{array}{l} p(a_1,\ r_1)\ \ p(a_1,\ r_2)\ldots p(a_1,\ r_r) \\ p(a_2,\ r_1)\ \ldots\ldots\ p(a_2,\ r_r) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ p(a_m,\ r_1)\ \ldots\ldots\ p(a_m,\ r_r) \end{array}\right\|.$$

Cazul particular în care ne situăm, $m=2$ şi $r=2$, corespunde la două rezultate posibile, cîte unul pentru fiecare răspuns. Matricea de mai sus devine:

$$p(A,\ R)=\left\|\begin{array}{ll} p(a_1,\ r_1) & p(a_1,\ r_2) \\ p(a_2,\ r_1) & p(a_2,\ r_2) \end{array}\right\|.$$

Distribuţiile de probabilitate pe cîmpurile componente A şi R pot fi exprimate în funcţie de probabilităţile compuse:

$$p(a_i)=\sum_{r\in R} p(a_i,\ r)=p(a_i, r_1)+\ldots+p(a_i,\ r_r),$$

ceea ce reprezintă suma elementelor matricii pe linia i. La fel,

$$p(r_j)=\sum_{a\in A} p(a,\ r_j)=p(a_1,\ r_j)+\ldots+p(a_m,\ r_j),$$

ceea ce reprezintă suma elementelor matricii pe coloana j.

În momentul iniţial, dacă nu există nici o informaţie asupra rezultatului vreunui răspuns, atunci (pentru sistem) aceste două cîmpuri sînt statistic independente:

$$p(a,\ r)=p(a)\cdot\ p(r),$$

iar matricea probabilităţilor complexe înregistrată în memoria sa are forma:

$$p(A,\ R)=\left\|\begin{array}{ll} p(a_1)\cdot p(r_1) & p(a_1)\cdot p(r_2) \\ p(a_2)\cdot p(r_1) & p(a_2)\cdot p(r_2) \end{array}\right\|.$$

Nedeterminarea evenimentului compus răspuns-rezultat este în acest caz maximă:

$$H(A,\ R)=H(A)+H(R),$$

şi transmisia de informaţie de la mediu prin calea de reacţie, nulă:

$$T(R,\ A)=H(R)-H_A(R)=H(R)-H(R)=0.$$

Scanned with OKEN Scanner

După efectuarea primei experienţe de către subiect, matricea probabilităţilor compuse $p(a, r)$ îşi schimbă conţinutul, pe baza informaţiei primite de la mediu în privinţa rezultatului răspunsului. În primul rînd, ea devine o matrice de probabilităţi condiţionate a rezultatelor în prezenţa răspunsurilor,

$$p_A(A, R) = \left\| \begin{array}{ll} p(a_j) \cdot p_{a_1}(r_1) & p(a_1) \cdot p_{a_1}(r_2) \\ p(a_2) \cdot p_{a_2}(r_1) & p(a_2) \cdot p_{a_2}(r_2) \end{array} \right\| .$$

Faţă de matricea $p(A, R)$ se constată acum o creştere a valorii unor termeni şi o scădere a altora. Să presupunem, de exemplu, că răspunsul a_1 a primit rezultatul r_1; aceasta determină o creştere a probabilităţii $p_{a_1}(r_2)$ faţă de $p_{a_2}(r_2)$, deoarece în condiţiile experienţei noastre cu două rezultate,

$$p(r_1, a_1) + p(r_2, a_1) = p(a_1) = \text{const.}$$

Menţionăm că sistemele cu informaţie iniţială au înregistrată în memorie încă de la începutul procesului (înaintea primei experienţe) o astfel de matrice de probabilităţi condiţionate.

Relaţia de mai sus se poate scrie mai explicit:

$$p(a_1) \cdot p_{a_1}(r_1) + p(a_1) p_{a_1}(b_2) = p(a_1),$$

sau

$$p(a_1)[p_{a_1}(r_1) + p_{a_1}(r_2)] = p(a_1),$$

de unde,

$$p_{a_1}(r_1) + p_{a_1}(r_2) = 1,$$

ceea ce era de aşteptat, răspunsul a_1 trebuind să aibă drept urmare unul din cele două rezultate posibile, r_1 sau r_2.

După natura condiţiilor în care se desfăşoară procesul de instruire, răspunsul a_i determină întotdeauna rezultatul r_j sau numai uneori, conform unei scheme probabilistice apriorice. Probabilitatea condiţionată $p_{a_i}(r_j)$ care se formează în sistem în urma experienţei, sau probabilitatea aposteriori, rezultă din compararea numărului de rezultate r_j obţinute cu numărul total de răspunsuri a_i efectuate şi ea se apropie cu atît mai mult de probabilitatea aprioricâ (reală) cu cît numărul de experienţe este mai mare. Chiar şi în cazul unei dependenţe apriorice rezultat-răspuns certe,

$$[p_{a_i}(r_j)]_{\text{apriori}} = 1,$$

Scanned with OKEN Scanner

sînt necesare experienţe multiple pentru ca probabilitatea a posteriori înregistrată în sistem să devină certitudine. Desigur legea după care evoluează probabilităţile a posteriori în urma fiecărei experienţe depinde de natura sistemului respectiv şi de modul propriu de prelucrare a informaţiei, mecanismul său intim nefiind încă elucidat. Întrucît probabilitatea a posteriori de condiţionare a rezultatului r_j de către răspunsul a_i la experienţa a $n+1$-a depinde de rezultatele obţinute în cazul răspunsului a_i la cele n experienţe precedente, putem asimila fenomenul cu un lanţ Markov de ordinul n,

$$p_{a_i \cdot n}(r_j) = p_{a_i \cdot n-1 a_i \cdot n_2 \ldots a_i \cdot n - n}(r_j).$$

Este mai simplă considerarea unei dependenţe (de exemplu liniare) între 2 probabilităţi succesive oarecare (cazul lanţului constant cu legături complete de ordinul întîi).

În cazul nostru, avînd probabilităţile apriorice (alese arbitrar):

$$p_{a_1}(r_1) = 1; \quad p_{a_1}(r_2) = 0,$$

această dependenţă se poate scrie:

$$p_{a_1 \cdot n+1}(r_2) = \alpha p_{a_1 \cdot n}(r_2).$$

O lege similară guvernează evoluţia probabilistică a răspunsurilor greşite, în cadrul modelelor stocastice de instruire[1].

În continuare se deduce, ţinînd seama de relaţiile precedente

$$p_{a_1, n+1}(r_1) = 1 - p_{a_1 \cdot n+1}(r_2) = 1 - \alpha\, p_{a_1 \cdot n}(r_2) = 1 - \alpha^n p_{a_1 - 1}(r_2),$$

unde

n = numărul încercării, α = coeficientul de instruire; $0 < \alpha < 1$.

Matricea $p_A(A, R)$ devine deci la încercarea a n-a:

$$p_{A, n}(A, R) = \left\| \begin{matrix} p(a_1) 1\alpha^{n-1} p_{a_1 \cdot 1}(r_2) & p(a_1)\, \alpha^{n-1} p_{a_1 \cdot 1}(r_2) \\ p(a_2)\ \alpha^{n-1} p_{a_2 \cdot 1}(r_1) & p(a_2) 1 - \alpha^{n-1} p_{a_2 \cdot 1}(r_1) \end{matrix} \right\|.$$

După un număr mare de încercări, (care este cu atît mai redus cu cît α e mai mic), probabilităţile condiţionate devin:

$$\lim_{n \to \infty} p_{a_1 \cdot n}(r_2) = \lim_{n \to \infty} \alpha^{n-1} p_{a_1 \cdot 1}(r_2) = 0,$$

$$\lim_{n \to \infty} p_{a_1 \cdot n}(r_1) = \lim_{n \to \infty} [1 - \alpha^{n-1} p_{a_1 \cdot 1}(r_2)] = 1,$$

---

[1] R. Bush, F. Mosteller, *op. cit.*

Scanned with OKEN Scanner

din care se observă că sistemul a înregistrat imposibilitatea realizării unui eveniment de tipul $(a_1 r_2)$ și certitudinea realizării evenimentului $(a_1 r_1)$. Cu alte cuvinte el cunoaște acum rezultatele răspunsurilor sale. La limită, matricea $p_{A,n}(A, R)$ devine o matrice diagonală de tipul:

$$\lim_{n\to\infty} p_{A,n}(A, R) = \left\| \begin{array}{cc} p(a_1) & 0 \\ 0 & p(a_2) \end{array} \right\|.$$

Sub această formă matricea probabilităților condiționate arată că probabilitățile evenimentelor (a, r) nu depind decît de a, adică rezultatele sînt complet determinate de răspunsuri. Desigur, această determinare este apriorică procesului de instruire și rezultă din condițiile naturale ale experienței sau din voința experimentatorului. Pe măsura desfășurării procesului de instruire, subiectul se informează asupra acestei determinări. Alegerea răspunsurilor se face acum în deplină cunoștință a rezultatelor respective, deoarece întreaga cantitate de informație furnizată de mediu prin reacție s-a înregistrat în memoria sistemului. Întrucît nu am precizat care din rezultate înseamnă succes și care eșec, sistemul va alege răspunsurile a_1 și a_2 conform probabilităților lor proprii; de exemplu, în cazul unor probabilități inițiale egale:

$$p(a_1) = p(a_2) = 0{,}5,$$

matricea precedentă devine:

$$\lim_{n\to\infty} p_{A,n}(A, R) = \left\| \begin{array}{cc} 0{,}5 & 0 \\ 0 & 0{,}5 \end{array} \right\|.$$

Să analizăm acum acest proces din punct de vedere a transmisiei informației. Dacă înaintea producerii unui răspuns, incertitudinea în privința rezultatelor era maximă și egală cu entropia acestui cîmp de probabilitate, $H(R)$, după efectuarea unei încercări, nedeterminarea se micșorează la entropia condiționată $H_A(R)$ care după cum se demonstrează în teoria informației se bucură de proprietatea:

$$H_A(R) \leqslant H(R).$$

Pentru a exprima această entropie în funcție de probabilitățile condiționate de mai sus, vom defini mai întîi entropia condiționată corespunzătoare unui singur răspuns, a_i:

$$H_a(R) = -\sum_{r\in R} p_a(r) \log p_a(r),$$

Scanned with OKEN Scanner

care reprezintă incertitudinea existentă în cîmpul rezultatelor atunci cînd s-a produs un anumit răspuns. Formînd speranța matematică a variabilei aleatorii H_a, obținem entropia condiționată $H_A(R)$, adică incertitudinea totală asupra rezultatelor corespunzătoare tuturor răspunsurilor posibile:

$$H_A(R) = -\sum_{a \in A} p(a) H_a(R) = -\sum_{a \in A} \sum_{r \in R} p(a)\, p_a(r) \log p_a(r) =$$

$$= \sum_{a \in A} \sum_{r \in R} p(a, r) \log p_a(r).$$

Nedeterminarea evenimentului compus răspuns-rezultat scade față de valoarea din cazul evenimentelor independente, la:

$$H(A,R) = H(A) + H_A(R),$$

iar transmisia de informație de la mediu spre sistem prin calea de reacție:

$$T(R, A) = H(R) - H_A(R) > 0.$$

Corespunzător încercării a n-a vom avea o valoare a nedeterminării $H_n(A,R)$ și o valoare a informației transmise $T_n(R,A)$, în funcție de coeficientul α care este invers proporțional cu viteza de instruire.

La limită, după un număr mare de încercări, nedeterminarea din cîmpul rezultatelor în prezența răspunsurilor se anulează, deoarece probabilitățile $p_a(R)$ devin egale cu zero sau cu unu, așa cum s-a arătat; deci:

$$\lim_{n \to \infty} H_{A,\, n}(R) = 0,$$

așa încît nedeterminarea evenimentului compus (a, r) depinde numai de răspunsuri:

$$H(A,R) = H(A)$$

și transmisia de informație prin calea de reacție e maximă:

$$T(R,A) = H(R).$$

În această situație, conexiunea răspuns-rezultat e formată și înregistrată în memoria sistemului. Să vedem ce influență are formarea acestei conexiuni asupra celeilalte conexiuni stimul-răspuns.

Scanned with OKEN Scanner

d) Formarea legăturii dintre semnalele de intrare și de ieșire. După efectuarea primei încercări de instruire asupra sistemului acționează două surse informaționale: a stimulilor (mediu) și a rezultatelor (reacție mediu). Prima este o sursă activă, iar a doua e înregistrată, sub forma distribuției de probabilități condiționate $p_a(r)$.

Pe măsură ce matricea probabilităților condiționate $p(r, a)$ se modifică și matricea $p(s, a)$ își schimbă aspectul. Dintr-o matrice de probabilități compuse a două cîmpuri independente, ea devine o matrice de probabilități dublu condiționate: probabilitatea condiționată a răspunsului în prezența stimulului și a rezultatului. Matricea $p(S, A)$ devine:

$$p(S_1, A, R) = \left\| \begin{array}{cc} p(s_1, a_1, r_1) & p(s_1, a_2, r_1) \\ p(s_1, a_1, r_2) & p(s_1, a_2, r_2) \end{array} \right\|.$$

Dar $p(a_1, r_2) = p(a_2, r_1) = 0$
și deci elementele matricii nesituate pe prima diagonală se anulează; pentru celelalte două elemente, dubla condiționare se scrie:

$$p(s_1, a_1, r_1) = p(s_1, r_1) \cdot p_{s_1 r_1}(a_1);$$

$$p(s_1, a_2, r_2) = p(s_1, r_2)\ p_{s_1 r_2}(a_2).$$

Dacă rezultatele r_1 și r_2 ar avea o utilitate egală în realizarea scopului urmărit, atunci la aplicarea stimulului s_1, sistemul ar alege răspunsul a_1 sau a_2 cu probabilitate egală:

$$p_{s_1 \cdot r_1}(a_1) = p_{s_1 \cdot r_2}(a_2).$$

În general însă răspunsurile au eficacități diferite în ceea ce privește realizarea unui scop, adică rezultatele lor au utilități diferite. Apare deci necesitatea unui sistem, care să aprecieze utilitatea fiecărui rezultat $u(r)$, din punct de vedere al unui scop, cît și al unui sistem de decizie, care să efectueze alegerea răspunsului prin considerarea utilităților rezultatelor respective. Problema „utilității" va fi analizată în paragraful următor.

Fie de exemplu $u(r_1) > u(r_2)$; vom considera că probabilitatea răspunsului cu rezultat de utilitate redusă $(a_2 - r_2)$ se micșorează după o lege liniară:

$$p_{s_1, r_1 n+1}(a_2) = \alpha p_{s_1, r_1 n}(a_2).$$

Scanned with OKEN Scanner

Dacă ţinem seama de faptul că:

$$p_{s_1, r_1}(a_1) + p_{s_1, r_1}(a_2) = 1,$$

după n încercări, vom avea:

$$p(s_1, a_1, r_1) = p(s_1, r_1)[1 - \alpha^{n-1} p_{s_1, r_1, 1}(a_2);$$

$$p(s_1, a_2, r_2) = p(s_1, r_2)\, \alpha^{n-1} p_{s_1, r_2, 1}(a_2),$$

şi la limită, după un număr mare de încercări; matricea $p(S, A, R)$ devine

$$\lim_{n \to \infty} p_n(s_1, A, R) = \left\| \begin{matrix} p(s_1, r_1) & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix} \right\|,$$

ceea ce corespunde încheierii procesului de instruire; cînd

$$\lim_{n \to \infty} p_{s_1, r_1, n}(a_1) = 1 \text{ — succes sigur,}$$

$$\lim_{n \to \infty} p_{s_1, r_2, n}(a_2) = 0 \text{ — eşec imposibil.}$$

Să analizăm în continuare modul de transmisie a informaţiei prin sistem. După cum se ştie, realizarea unui eveniment compus (s, r) micşorează întotdeauna gradul de nedeterminare a unui alt eveniment (a), într-o măsură cel puţin egală cu aceea a realizării evenimentului (s) singur:

$$H_{S,R}(A) \leqslant H_S(A).$$

Cu alte cuvinte, perechea de evenimente (s, r) conţine totdeauna cel puţin tot atîta informaţie relativ la un eveniment oarecare (a) ca şi evenimentul simplu (s):

$$I(S, R, A) \geqslant I(S, A).$$

Egalitatea are loc numai în cazul în care evenimentul a nu depinde de r ci numai de s. Pentru procesul de instruire este valabil semnul inegalităţii, deoarece probabilitatea unui răspuns a depinde atît de stimulul s cît şi de cunoaşterea rezultatului r.

Conţinutul de transinformaţie medie de la cîmpul evenimentelor A la cîmpul evenimentelor S în prezenţa cîmpului de evenimente R va avea expresia:

$$T_R(SA) = H(A) - H_{S,R}(A),$$

Scanned with OKEN Scanner

și similar de la cîmpul A la cîmpul S,

$$T_{A,R}(S)=H(S)-H_{A,R}(S).$$

Comparînd transinformațiile constatăm că, datorită informației aduse de evenimentele R, transmisia prin sistem s-a îmbunătățit:

$$T_R(SA)>T(SA).$$

Pe măsura înregistrării informației de reacție, referitoare la evenimentul R, condiționarea evenimentului a de către R se accentuează, deci informația referitoare la legătura s-a, conținută în O, crește.

La limită, nedeterminarea răspunsului în prezența stimulului și a rezultatului se anulează.

Obținem:

$$H_{S,R}(A)=0,$$

ceea ce determină transmiterea maximă de informație prin sistem:

$$T_R(AS)=H(A),$$

și analog

$$T_R(SA)=H(S),$$

ceea ce înseamnă că sistemul transmite informația primită la intrare în întregime și că legătura stimul-răspuns este biunivoc formată.

4.4.2. *O măsură calitativă a informației*

Elaborarea noțiunii de informație s-a făcut neglijînd aspectul semantic și considerînd doar aspectul cantitativ, legat exclusiv de probabilitățile evenimentelor aleatoare. Această abstractizare simplificată a noțiunii de informație a scos în evidență o primă analogie în funcționarea sistemelor biologice și tehnice și anume faptul că ambele constituie sisteme de transmisiune a informației. Ulterior s-au căutat formalisme care să includă și aspectul semantic al informației.

Analogia profundă, cibernetică, între om și mașină se bazează însă pe funcționarea ambelor sisteme ca sisteme de

reglaj. Aici se pune în evidenţă caracterul utilitar al informaţiei transmise şi necesitatea evaluării eficacităţii unor comenzi informaţionale[1]. Într-un sistem de reglaj, informaţia transmisă este folosită pentru comandă, iar comanda este dirijată spre un scop. Întreaga activitate a sistemelor cibernetice este îndreptată spre îndeplinirea unui scop. Considerarea numai a dependenţelor probabilistice între semnale este insuficientă, întrucît eficacitatea funcţionării sistemului se bazează tocmai pe alegerea semnalelor de comandă celor mai adecvate scopului, deci pe diferenţierea calitativă a semnalelor transmise. De aceea un sistem de comandă, oricît de rudimentar, implică existenţa unui bloc logic care să aprecieze calitatea semnalelor transmise. Informaţia care circulă în cadrul sistemelor cibernetice depinde în mod esenţial nu numai de repartiţia probabilistică a evenimentelor ci şi de importanţa, utilitatea, semnificaţia, într-un cuvînt de calitatea acestor evenimente. Aceasta implică însă necesitatea stabilirii unei formule, a unei măsuri a informaţiei, care să ţină seama şi de calitatea evenimentelor nu numai de probabilităţile lor. Măsura lui C. E. Shannon ca şi generalizările ei ulterioare ignorează tocmai acest aspect calitativ, de primă importanţă pentru sistemele cibernetice, în cadrul cărora valoarea informaţiei apare legată de finalitatea unui experiment. Informaţia pe care o aduce realizarea oricărui eveniment depinde atît de probabilitatea evenimentului respectiv[2] cît şi de utilitatea lui pentru sistemul cibernetic (sau omul) care recepţionează această informaţie. Se pune însă problema: în ce mod depinde informaţia care se primeşte în urma realizării unui eveniment de utilitatea şi probabilitatea evenimentului în cauză?

Să considerăm un experiment care pune în evidenţă un număr finit $E_1, E_2 \dots E_n$ de evenimente, de probabilităţi $p_1, p_2 \dots p_n$: aceste probabilităţi satisfac relaţiile:

$$p_i \geqslant 0 \ (i=1, 2 \dots n); \quad \sum_{i=1}^{n} p_i = 1.$$

Să presupunem acum că pentru un anumit sistem cibernetic sau pentru un anumit om aceste evenimente au diferite utili-

[1] M. Beliş, S. Guiaşu, *A Quantitative-Qualitative Measure of Information in Cybernetic Systems*, în IEEE Transactions on Information Theory, vol. I T-14 nr. 4, iulie 1968, p. 593.

[2] S. Guiaşu, *Aplicaţii ale teoriei informaţiei*, Academia R.S.R., Bucureşti, 1968.

Scanned with OKEN Scanner

tăţi, raportate la realizarea scopului care se urmăreşte cu experimentul respectiv. În orice experiment orientat către un scop, realizarea unui eveniment ne spune mai mult sau mai puţin, are o utilitate mai mare sau mai mică în ceea ce priveşte scopul propus, în comparaţie cu realizarea unui alt eveniment. Utilitatea unui eveniment este independentă de probabilitatea obiectivă de realizare a evenimentului respectiv, un eveniment de probabilitate mică putînd să aibă de exemplu o utilitate foarte mare. De asemenea un eveniment de probabilitate mare, eventual chiar cu probabilitatea 1, poate să aibă, în ceea ce priveşte un anumit scop pe care îl urmărim, o utilitate nulă. Informaţia care se obţine însă prin realizarea unui anumit eveniment depinde atît de utilitatea lui, aceasta fiind aspectul calitativ, subiectiv, legat de existenţa unui scop, cît şi de probabilitatea de realizare a acestui eveniment, adică de latura obiectivă a experimentului. A diferenţia evenimentele E_1, E_2, ..., E_n ale unui experiment orientat către un scop din punct de vedere al utilităţii lor în realizarea scopului propus, înseamnă a ataşa fiecărui eveniment E_i un număr nenegativ, $0 \leqslant u_i$, utilitatea acestui eveniment relativ la scopul propus. Un eveniment care nu ne spune nimic în legătură cu scopul propus, dacă se va realiza în cadrul experimentului, va avea o utilitate egală cu zero. Ataşînd fiecărui eveniment o utilitate şi considerînd evenimentul de utilitate maximă, dacă vom împărţi utilităţile diferitelor evenimente cu această utilitate maximă (presupusă finită), vom obţine valorile tuturor unităţilor cuprinse între zero şi unu. În cele ce urmează însă nu vor fi normate utilităţile evenimentelor, ele putînd fi orice numere reale nenegative. Trebuie subliniat faptul că aceleaşi evenimente cu aceleaşi probabilităţi pot să aibă utilităţi diferite pentru sisteme cibernetice diferite chiar cînd scopul este acelaşi; pe de altă parte pentru un acelaşi sistem, aceleaşi evenimente pot avea diferite utilităţi, dacă scopul se modifică. Rezultă deci că utilităţile diferitelor evenimente sînt direct legate de scopul propus şi de sistemul cibernetic interesat în realizarea scopului propus. În acest sens este clar că utilitatea unui eveniment este o noţiune subiectivă, în timp ce probabilitatea de realizare a unui anumit eveniment în cadrul experimentului este o noţiune obiectivă.

Să considerăm deci un sistem complet de eveniment $E_1, E_2, \ldots E_n$ cu probabilităţile $p_1, p_2, \ldots p_n$ şi utilităţile $u_1, u_2, \ldots u_n$. Informaţia pe care o aduce realizarea unui singur eveniment de probabilitate p şi utilitate u, o notăm

Scanned with OKEN Scanner

cu I şi ea depinde atît de probabilitatea p, cît şi de utilitatea u, fiind o funcţie de două variabile $I=I(u, p)$. Pentru a stabili modul efectiv în care I depinde de u şi p ne vom baza pe două proprietăţi evidente pe care trebuie să le posede orice măsură a informaţiei care depinde de utilitate şi de probabilitate.

În primul rînd informaţia considerată ca funcţie de probabilitate a unor evenimente independente E şi F, deci şi evenimentul $E \cap F$, furnizează o cantitate de informaţie egală cu suma informaţiilor, aceasta oricare ar fi utilitatea u. Notînd cu p şi q probabilităţile lui E, respectiv F, cum $E \cap F$ are posibilitatea pq (în ipoteza că E şi F sînt independente) cele de mai sus se traduc prin egalitatea:

$$I(u, pq)=I(u, p)+I(u, q), \qquad (a)$$

oricare ar fi $u \geqslant 0$, şi oricare ar fi probabilităţile $0 \leqslant p \leqslant 1$, $0 \leqslant q \leqslant 1$.

În al doilea rînd, informaţia pe care o furnizează realizarea unui eveniment cu o probabilitate oarecare este direct proporţională cu utilitatea evenimentului respectiv. Mai exact, cu cît creşte utilitatea evenimentului, cu atît creşte şi informaţia furnizată de acest eveniment. Sub forma unei egalităţi aceasta revine la a scrie că:

$$I(cu, p)=cI(u, p) \qquad (b)$$

oricare ar fi utilitatea $u \geqslant 0$ şi probabilitatea $0 \leqslant p \leqslant 1$, pentru orice constantă nenegativă $c \geqslant 0$.

Teoremă. Fie funcţia $I=I(u, p)$ satisfăcînd condiţiile de mai sus. Atunci I are forma:

$$I=(u, p)=-ku \log p,$$

unde k este o constantă pozitivă arbitrară.

Demonstraţie: Relaţia (b) implică faptul că pentru orice $u \geqslant 0$ şi $0 \leqslant p \leqslant 1$ avem

$$I(u, p)=uI(1, p):$$

din (a) rezultă că, în particular, pentru $u=1$ avem

$$I(1, pq)=I(1, p)+I(1, q),$$

oricare ar fi $0 \leqslant p \leqslant 1$, $0 \leqslant q \leqslant 1$.

Dacă punem acum

$$I(1, p)=F(\log p),$$

Scanned with OKEN Scanner

vom obține pentru funcția F relația:

$$F(x+y)=F(x)+F(y),$$

unde

$$x=\log p,\ y=\log q.$$

Ecuația funcțională de mai sus are drept unică soluție continuă pe

$$F(x)=ax,$$

unde a este o constantă arbitrară și deci rezultă:

$$I\,(1,\ p)=a\ \log p.$$

Cum valoarea informației o considerăm nenegativă, pentru ca $I\,(1,\ p)\geqslant 0$ este necesar ca să avem $a<0$. Notînd

$$k=-a,$$

vom avea

$$I\,(1,\ p)=-k\ \log p\ (k>0),$$

deci

$$I\,(u,\ p)=-ku\ \log p,$$

adică expresia ce trebuia demonstrată.

Să ne reîntoarcem la sistemul complet de evenimente E_1, $E_2,\ldots,E_n$, de probabilități p_1, p_2 ... p_n și utilități u_1, u_2 ... u_n. Pe baza celor de mai sus, informația pe care o aduce evenimentul E_i de probabilitate p_i și utilitate u_i este

$$I_i=I\,(u_i,\ p_i)=-ku_i\ \log p_i.$$

Însă evenimentul E_i se realizează cu probabilitatea p_i și deci informația I_i o primim cu probabilitate p_i. Informația medie pe care o furnizează un experiment care are pe E_1, E_2 ... E_n drept evenimente posibile va fi:

$$I=I\,(u_1,\ u_2\ \ldots\ u_n;\ p_1,\ p_2,\ldots\ p_n)=\sum_{i=1}^{n} p_i I_i=$$

$$=\sum_{i=1}^{n} p_i I\,(u_i p_i)=-k\sum_{i=1}^{n} u_i p_i\ \log p_i.$$

În cazul în care utilitățile evenimentelor E_1, E_2,... E_n sînt egale între ele:

$$u_1=u_2=\ \ldots\ =u_n=u$$

Scanned with OKEN Scanner

obținem:

$$I=-\lambda\sum_{i=1}^{n}p_i\log p_i=H,$$

unde $\lambda=ku$ este o constantă pozitivă arbitrară; am obținut tocmai entropia H a lui C. E. Shannon, care ține seama numai de probabilitățile evenimentelor, ignorînd aspectul utilitar, subiectiv al acestor evenimente.

Se vede de asemenea că în cazul în care toate evenimentele sînt de utilitate nulă în raport cu scopul propus, deci dacă:

$$u_1=u_2=\ \ldots\ u_n=0,$$

informația subiectivă pe care o primim $I=0$, chiar dacă există $p_i\neq 0$, $0<p_i<1$, deci chiar dacă entropia H, adică informația obiectivă, este nenulă.

Informația cantitativ-calitativă I se anulează de asemenea dacă probabilitățile p_i $(i=1, 2, \ldots, n)$ sînt toate nule, cu excepția uneia dintre ele care are valoarea 1. În acest caz, entropia H fiind nulă, se vede că și $I=0$, oricare ar fi utilitățile $u_i\geqslant 0$ $(i=1, 2\ \ldots\ n)$.

În sfîrșit, tot din expresia lui I se vede că această informație este nulă, dacă $u_i=0$ pentru valorile lui i, pentru care $p_i>0$ și $p_j=0$ pentru valorile lui j, pentru care $u_j>0$, ilustrînd faptul intuitiv că un experiment în care evenimentele posibile sînt inutile, iar evenimentele utile sînt imposibile, furnizează o informație totală nulă.

În cazul în care există o utilitate maximă finită $u<+\infty$, astfel încît:

$$u_{i0}=u,\ u_i\leqslant u\ (i=1, 2\ \ldots\ n)\ i\neq i_0$$

atunci avem:

$$I=-k\sum_{i=1}^{n}u_ip_i\log p_i\leqslant -ku\sum_{i=1}^{n}p_i\log p_i\leqslant ku\log p.$$

Din expresia lui I se vede clar faptul că în cazul în care un eveniment cu probabilitate mare are o utilitate foarte mică, contribuția sa la informația totală este mică și invers, în cazul în care un eveniment cu probabilitate mică are o utilitate foarte mare, contribuția sa la informația totală pe care ne-o dă realizarea experimentului este mare.

În concluzie, în cazul în care experimentul efectuat nu este orientat către un scop, evenimentele componente nu se disting

Scanned with OKEN Scanner

între ele din punctul de vedere al utilităţilor. În formula lui I ele pot fi egale cu orice număr, fiind în acelaşi timp egale între ele: în particular ele pot fi egale cu 1. În acest caz obţinem chiar formula lui Shannon care ne dă informaţia pur cantitativă. În cazul în care utilităţile sînt egale între ele dar ţinem cont de valoarea lor exactă, informaţia dată de formula lui Shannon creşte sau scade fiind influenţată de aspectul calitativ.

În cele de mai sus ne-am referit în special la sistemele cibernetice şi tocmai din această cauză, referindu-ne la aspectul calitativ al informaţiei, am vorbit de utilităţile evenimentelor, utilităţi legate de un scop. Folosirea măsurării cantitativ-calitative a informaţiei se impune însă chiar în cele mai simple şi elementare situaţii în cadrul cărora sîntem nevoiţi să măsurăm informaţia furnizată de un experiment din punct de vedere calitativ. Să luăm de exemplu cel mai simplu experiment, aruncarea cu banul, experienţă care pune în evidenţă două evenimente E_1, E_2 de probabilităţi egale $p_1 = p_2 = \frac{1}{2}$. Să presupunem că un om este interesat în acest experiment în două situaţii diferite, prima dată realizarea evenimentului E_1 fiindu-i inutilă ($u_1 = 0$), în timp ce realizarea lui E_2 prezintă o oarecare utilitate apreciată de el ca fiind $u_2 = 6$ (de exemplu dacă se realizează E_2 cîştigă un bilet la cinematograf iar dacă se realizează E_1 nu cîştigă nimic); a doua oară realizarea evenimentului E_1 îi este din nou inutilă ($u_1 = 0$), în timp ce realizarea lui E_2 prezintă o utilitate considerabilă, apreciată de acelaşi jucător ca fiind $u_2 = 6\,000$ (de exemplu dacă se realizează E_2 cîştigă un automobil, iar dacă se realizează E_1 nu cîştigă nimic). Accentuăm din nou că aprecierea utilităţilor u_1 şi u_2 în ambele cazuri de mai sus depinde de omul în cauză. În fond s-ar putea ca pentru un om care are o maşină dar doreşte să vadă spectacolul respectiv, aceasta fiind unica ocazie, valorile utilităţilor pe care le alocă celor două evenimente să fie foarte diferite de cele de mai sus, de unde şi caracterul subiectiv al utilităţilor. Întorcîndu-ne la cazurile de mai sus, entropia H sau informaţia pur cantitativă este aceeaşi în ambele situaţii şi anume $H = \log_2 2 = 1$ (s-a luat constanta $k = 1$ şi logaritmul în baza 2, în timp ce măsura cantitativ-calitativă a informaţiei stabilită anterior face o distincţie netă între cele două situaţii, luînd valorile $I = 3$ în primul caz şi $I = 3\,000$ în cazul al doilea.

Scanned with OKEN Scanner

4.4.3. *Model de instruire semantică*

În modelul informaţional al învăţării prezentat anterior, s-a ţinut seama doar de aspectul cantitativ al informaţiei, bazat pe probabilităţile de transmisie a simbolurilor între sursă şi receptor. Această modelare este adecvată în special în cazul învăţării de tip instrumental, sintetizată de tripletul stimul-răspuns-rezultat.

În cazul învăţării umane, instruirea ia forme mai complexe, fiind caracterizată prin recepţia şi integrarea la nivel conceptual a unor informaţii cu sens. Aceasta înseamnă că, atît sursa cît şi receptorul ataşează simbolurilor transmise o anumită semantică, care influenţează desfăşurarea procesului.

Pe de altă parte, în cazul comunicaţiei umane, transmisia capătă un caracter bidirecţional[1], fiecare interlocutor putînd fi atît sursă cît şi receptor, aşa cum se arată în figura 4.7.

În continuare se va prezenta un model al unei surse semantice ţinînd seama de aspectul cantitativ al informaţiei

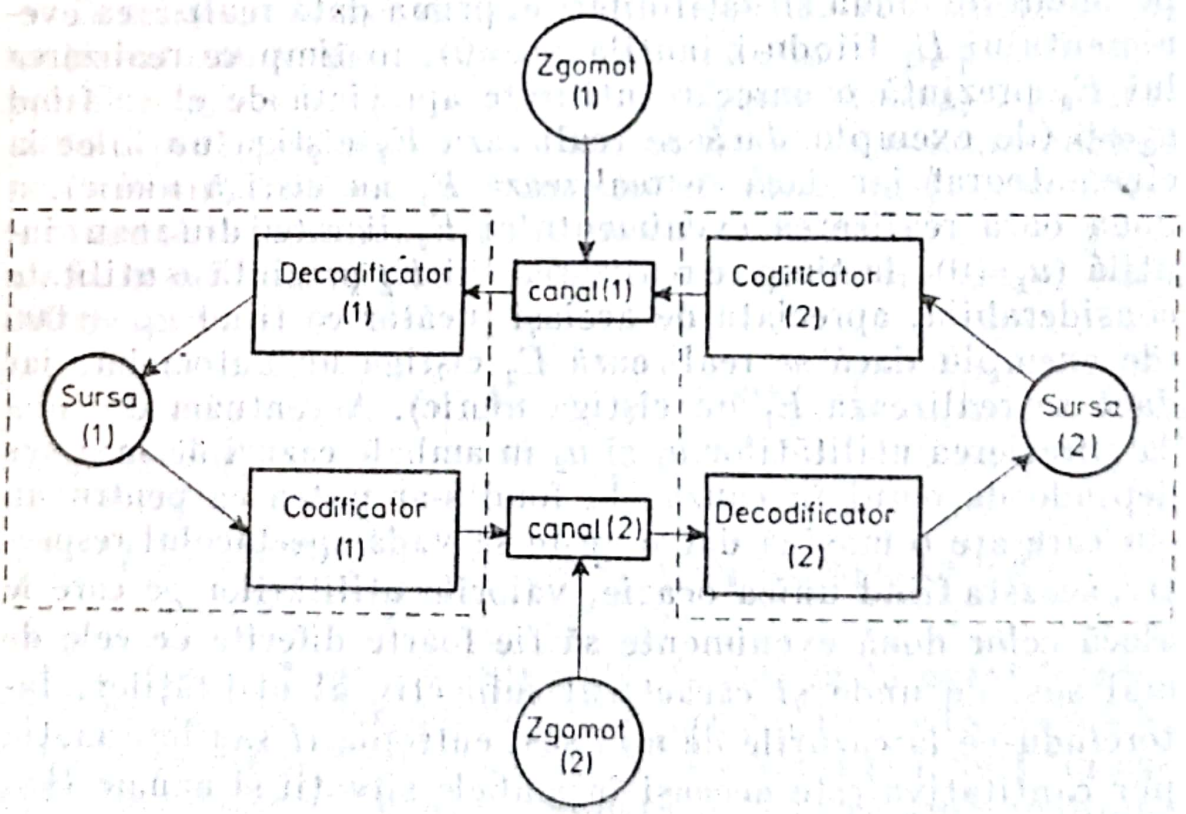


Fig. 4.7

[1] H. Marko, *The Bidirectional Communication Theory*, în „IEEE Transactions on Communications", nr. 12, vol. 21, 1973, U.S.A.

cît și de cel calitativ[1]. Acest model va fi folosit apoi pentru descrierea procesului de învățare.

Modelul sursei semantice. Fie o sursă de informație avînd o mulțime finită de simboluri numite *cuvinte*, precum și o gramatică finită (un ansamblu de reguli) pentru a asocia cuvintele în structuri numite *propoziții*.

Fie $V_m=\{v_1, v_2, \ldots, v_m\}$ mulțimea finită a simbolurilor. V_m este *lexiconul* sursei.

Fie $S_n=\{s_1, s_2, \ldots s_n\}$ mulțimea finită a structurilor formate cu elementele din V, prin aplicarea gramaticii date. S_n este *limbajul* sursei.

Prin simpla aplicare a gramaticii se pot genera propoziții corecte din punct de vedere sintactic, dar fără înțeles. Pentru a formaliza conceptul de „înțeles" (sens) introducem conceptul de *domeniu de coherență*.

Din punct de vedere semantic, un *domeniu de coherență* este un ansamblu de propoziții legate între ele printr-o temă comună pentru care sînt mai mult sau mai puțin pertinente (relevante).

Din punct de vedere matematic, un domeniu de coherență d_i în S este o mulțime vagă[2] caracterizată printr-o funcție de apartenență (sau funcție semantică) f_i (s_j) care asociază fiecărui element s_j din S un număr real din intervalul [0,1]. Valoarea lui $f_i(s_j)$ în s_j reprezintă gradul de apartenență a propoziției s_j la domeniul d_i, adică valoarea semantică pe care propoziția s_j o are pentru acest domeniu. O propoziție cu $f_i=0$ nu are înțeles pentru domeniul d_i. O propoziție cu $f_i=1$ este foarte semnificativă pentru d_i.

Este de remarcat că o aceeași propoziție poate avea funcții semantice cu valori diferite, corespunzător domeniului d în care este evaluată, adică $f_i(s_k)\neq f_j(s_k)$. Aceasta se datorește faptului că sensul unei propoziții depinde de contextul în care este inclusă.

O sursă semantică are un număr finit de domenii de coherență, care formează o mulțime D. Există o ordine de preferință pe D, specifică fiecărei surse. Vom atașa deci fiecărui domeniu d_i un număr real $k(d_i)=k_i$, $0\leqslant k_i\leqslant 1$, care reflectă preferințele sursei în așa fel încît dacă d_i este preferat lui d_j,

---

[1] M. Beliș, *A Theory of Semantic Communication*, Comunicare la Congresul de Cibernetică și Sisteme, București, 1975.

[2] C. V. Negoiță ș.a., *Mulțimi vagi și aplicațiile lor*, Editura Tehnică, București, 1974.

Scanned with OKEN Scanner

atunci $k_i > k_j$. Numerele k se numesc *coeficienți de preferință*.

În concluzie, o sursă semantică de informație este definită de următoarele entități:

— o mulțime finită de cuvinte formînd un lexicon $V=\{v\}$;

— o gramatică $G=\{g\}$ generatoare de propoziții;

— o mulțime finită de propoziții, formînd un limbaj $S=\{s\}$;

— o mulțime finită de domenii de coherență $D=\{d\}$;

— o mulțime finită de funcții semantice $F=\{f\}$;

— o mulțime finită de coeficienți de preferință $K=\{k\}$.

O sursă semantică este ansamblul:

$\{V;\ G;\ S;\ D;\ F;\ K\}$.

Trebuie observat că modelul de mai sus este valabil pentru orice tip de sursă semantică, oricare ar fi mijloacele de comunicație utilizate. De exemplu, în domeniul comunicației muzicale, mulțimea simbolurilor elementare sînt notele, iar G este mulțimea regulilor de compoziție. În acest domeniu, însă, valorile funcțiilor semantice se stabilesc în mod mai arbitrar decît în cazul domeniului logic sau matematic.

Moduri de funcționare. Un sistem semantic poate funcționa ca emițător (sursă) sau ca receptor de informație. Aceste două funcțiuni sînt controlate de către blocul logic, în funcție de prezența și modul de funcționare a altor surse. O schemă bloc a unui sistem semantic (emițător-receptor) este reprezentată în fig. 4.8.

Cînd sistemul lucrează ca emițător, blocul logic ia din memoria sistemului diferite simboluri, le combină în structuri cu funcții semantice de valoare ridicată și le prezintă succesiv codificatorului (organele efectoare ale ființelor vii) care le trimite în exterior.

Blocul logic poate funcționa fie într-un mod pur determinist, sau poate introduce în mod deliberat o componentă aleatorie, funcționînd în modul *stocastic-controlat*.

Funcționarea *deterministă* este o simplă redare de simboluri sau de structuri înregistrate în memorie (recitare) sau de algoritmi înregistrați (traducere, calcule) etc.

În funcționarea *stocastic-controlată* blocul logic alege în mod aleatoriu simboluri, cu scopul de a forma noi structuri. Totuși, alegerea este controlată, astfel încît noile structuri

Scanned with OKEN Scanner

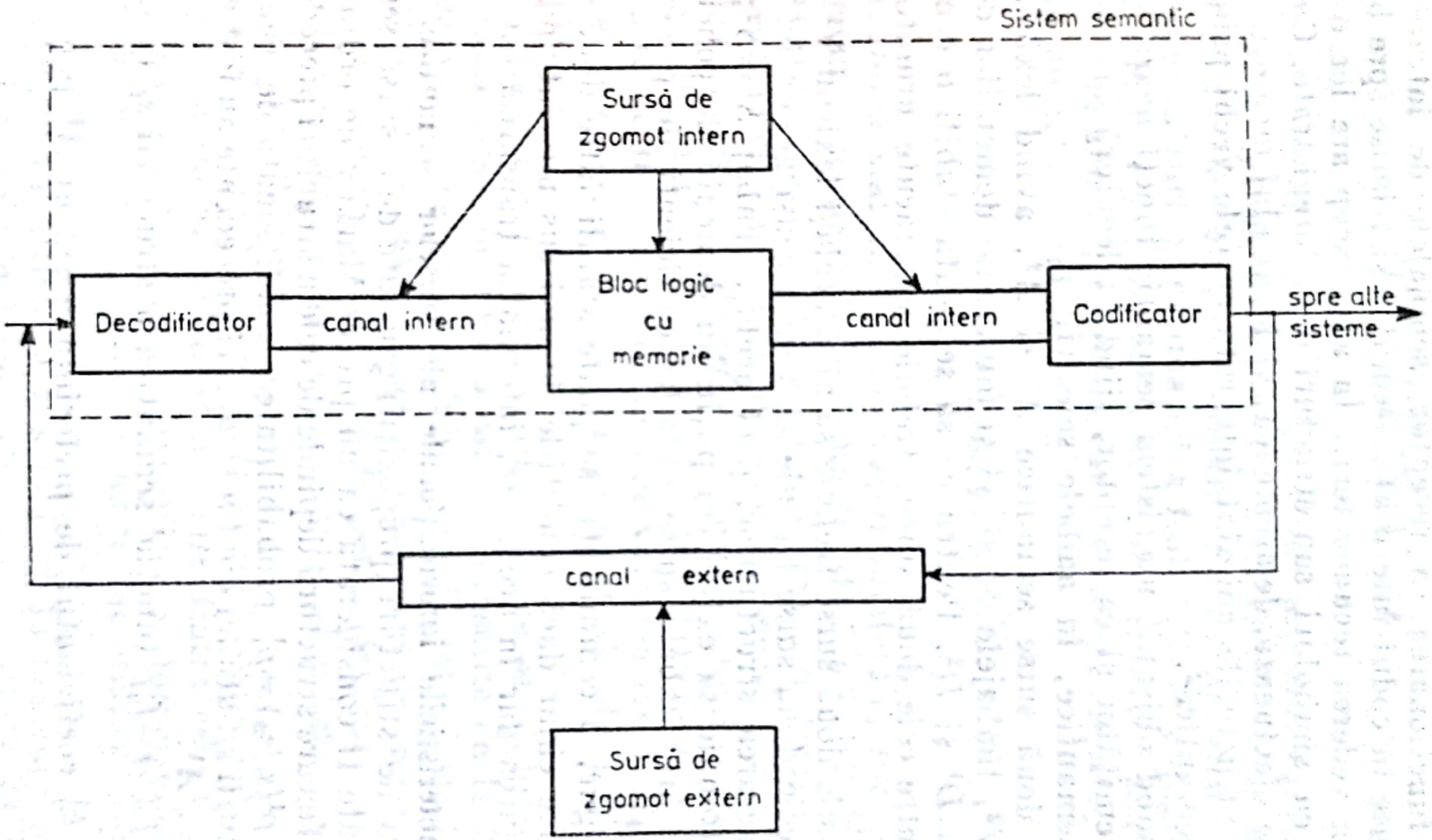


Fig. 4.8

Scanned with OKEN Scanner

să aparţină aceluiaşi domeniu de coherenţă. Structurile cu valori ridicate ale funcţiei semantice sînt selectate. Este modul creator.

În funcţionarea ca receptor, semnalele de intrare sînt transpuse în codul intern al sistemului şi trimise spre blocul logic în vederea recunoaşterii. În acest scop are loc o comparare cu simboluri sau structuri deja înregistrate. Compararea se efectuează, de asemenea, şi la nivelul memoriei operante[1]. Structurile noi sînt integrate cu cele vechi prin asociere semantică[2].

În mod obişnuit un sistem semantic funcţionează succesiv ca emiţător şi ca receptor, fiind în legătură cu alte sisteme semantice, în ambele sensuri.

Fie două surse semantice A^1 şi A^2, avînd lexicoanele V^1 şi V^2, limbajele S^1 şi S^2 şi mulţimile domeniilor de coherenţă D^1 şi D^2. Pentru ca să se poată stabili o comunicaţie între cele două surse, trebuie satisfăcute următoarele condiţii:

— cele două surse trebuie să aibă acelaşi lexicon $V^1 = V^2$;

— cele două surse trebuie să aibă aceeaşi gramatică pentru generarea structurilor, deci acelaşi limbaj $S^1 = S^2$;

— trebuie să existe cel puţin un domeniu de coherenţă pentru care ambele surse să aibă coeficienţi de preferinţă apropiaţi.

Desigur, o comunicaţie se poate stabili între două surse semantice chiar dacă condiţiile de mai sus nu sînt îndeplinite riguros dar în acest caz, informaţia transmisă este mai redusă.

Caracteristicile informaţionale ale surselor semantice. Succesiunea de structuri (propoziţii) generate de o sursă semantică poate fi considerată ca un proces Markov de ordinul n, în care fiecare structură depinde de cele n structuri precedente.

Fie $p^1(s_i/s_n) = p_i^1$ probabilitatea condiţionată de generare a structurii s_i, atunci cînd n structuri precedente au fost emise de sursa A^1.

Fie $f_0(s_i) = f_{0i}$ funcţia semantică a structurii s_i în domeniul d_0.

Fie k_0^1 coeficientul de preferinţă a sursei A^1 pentru d_0.

---

[1] Edm. Nicolau, C. Bălăceanu, *A Neurocybernetical Approach to the Problem of Language in „Progress of Cybernetics"* ed. J. Rose, Gordon and Breach, Londra, 1970.

[2] M. Beliş, G. Rulea, *The Analysis of the Process of Understanding.* Simpozionul de Cibernetică Educaţională, Praga, 1971.

Scanned with OKEN Scanner

Entropia caracteristică a sursei A^1 în domeniul d_0 în momentul inițial înaintea stabilirii unei comunicații cu alte surse este:

$$H_0^1 = -k \sum_i f_{0i}\, p_i^1 \log p_i^1.$$

După cum se observă, H_0^1 include aspectul cantitativ al informației (probabilitățile structurilor) cît și pe cel calitativ (valorile funcțiilor semantice). Justificarea teoretică a acestei măsuri a informației a fost dată în paragraful anterior, în care „utilitatea" joacă rolul „funcției semantice".

În mod similar, entropia caracteristică, inițială, a sursei A^2 în absența sursei A^1 este:

$$H_0^2 = -k \sum_i f_{0i}\, p_i^2 \log p_i^2.$$

Înaintea stabilirii comunicației bilaterale, nici una din surse nu cunoaște entropia caracteristică a celeilalte, adică nu cunoaște probabilitățile și calitatea structurilor de care dispune interlocutorul în domeniul respectiv.

Vom numi *entropie reflectată* entropia unei surse văzută de cealaltă. Astfel, entropia sursei A^1 văzută de A^2 este $(H_0^1)^2$; valoarea acestei entropii diferă de valoarea reală, H_0^1, cu atît mai mult cu cît A^2 dispune de mai puțină informație asupra lui A^1.

În timpul comunicației bilaterale ce se stabilește între cele două surse, informația care se transmite de la A^1 la A^2 și reciproc duce la dezvăluirea adevăratelor valori ale entropiilor caracteristice. Are loc un proces de *recunoaștere* în cursul căruia fiecare sursă descoperă adevărata distribuție de probabilități și conținutul semantic al structurilor de care dispune cealaltă sursă.

Un alt proces care are loc în timpul comunicației bilaterale este acela al *influenței mutuale* dintre cele două surse semantice. Acesta duce la modificarea, într-o măsură mai mare sau mai mică, a entropiilor caracteristice (inițiale) a fiecărei surse.

Entropia condiționată a sursei A^1 în prezența sursei A^2 după efectuarea a n transmisii succesive de la A^1 la A^2 și reciproc este:

$$H_{0n}^{1/2} = -k \sum_i f_{0i}\, p_{in}^{1/2} \log p_{in}^{1/2}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care $p_{in}^{1/2} = p\,(s_i/s_n^1, s_n^2)$ este probabilitatea condiționată a structurii s_i, după ce n structuri au fost generate atît de către sursa A^1 cît și de A^2. În mod similar, există o entropie condiționată $H_{0n}^{2/1}$, entropia sursei A^2 în prezența sursei A^1.

Valorile entropiilor condiționate se schimbă în tot timpul comunicației bilaterale, datorită influenței mutuale dintre sisteme. Întrucît procesul de recunoaștere are loc simultan cu cel de influență mutuală, recunoașterea se efectuează asupra unor forme variabile care se schimbă pe măsură ce sînt identificate.

Cantitatea de informație transmisă de la sursa A^1 la sursa A^2 sau *transinformația semantică* este diferența dintre entropia proprie a sursei A^1 în acel moment al transmisiei și entropia reflectată în sursa A^2 sau, cu alte cuvinte, dintre adevăratul conținut informațional al sursei A^1 și ceea ce cunoaște A^2 despre acest conținut. În momentul inițial această diferență are valoarea maximă, în special dacă A^2 nu are nici o informație asupra lui A^1 și anume:

$$T_0^{1,2} = H_0^1 - (H_0^1)^2.$$

Pe măsură ce sistemele comunică A^1 își dezvăluie conținutul informațional și entropia reflectată tinde spre valoarea reală. Pe de altă parte însă, și entropia caracteristică se modifică datorită influenței mutuale, devenind o entropie condiționată. După n transmisii reciproce, transinformația are expresia:

$$T_{0n}^{1,2} = H_{0n}^{1/2} - (H_{0n}^1)^2 < T_0^{1,2}$$

Dacă după cele n transmisii, recunoașterea lui A^1 de către A^2 s-a efectuat în mod complet, înseamnă că: $(H_{0n}^1)^2 = H_{0n}^{1/2}$ și deci $T_{0n}^{1,2} = 0$. Aceasta marchează sfîrșitul comunicației deoarece A^2 a descoperit tot conținutul informațional a lui A^1 (pentru domeniul d_0) și acesta nu-i mai poate furniza informație.

În mod normal, $T^{1,2} \neq T^{2,1}$ adică fiecare sistem primește o cantitate de informație diferită în timpul unei transmisii bilaterale. De asemenea gradul în care fiecare sistem își modifică propria entropie diferă. Din acest punct de vedere se deosebesc *surse tari* și *surse slabe*.

O sursă *tare* este definită ca o sursă a cărei entropie caracteristică nu se modifică (sau se modifică foarte puțin) după comunicarea cu altă sursă. Aceasta înseamnă că dacă A^1 este

Scanned with OKEN Scanner

o sursă tare, după n transmisii sucesive: $H_n^{1/2}=H_0^1$, adică entropia sa condiţionată de prezenţa sursei A^2 este aceeaşi cu entropia sa iniţială (caracteristică).

În cazul unei surse *slabe*, după n transmisii, entropia sa variază foarte mult, tinzînd spre valoarea entropiei caracteristice a interlocutorului. Dacă A_2 este o sursă slabă şi A_1 o sursă tare, $H_n^{2/1} \approx H_0^1$.

Instruirea ia sfîrşit cînd $H_{0n}^{2/1} = H_0^1$ şi deci $T_{0n}^{1,2}=0$. Aceasta înseamnă că, în domeniul respectiv, elevul are aceeaşi entropie ca şi profesorul şi deci acesta nu îi mai poate transmite informaţie.

De remarcat că instruirea nu trebuie să fie o transmisie de informaţie într-un singur sens. Atunci cînd şi elevul transmite, profesorul este informat asupra entropiei elevului şi îşi modifică transmisia în mod corespunzător.

Un avantaj al instruirii semantice (şi al comunicaţiei semantice, în general) constă în fiabilitatea ridicată a transmisiei[1]. Sistemele semantice utilizează două metode eficiente pentru a recepţiona corect mesajele, chiar în prezenţa unui zgomot ridicat. Este vorba de metoda acumulării şi de metoda corelaţiei semantice.

Metoda acumulării, larg utilizată şi în sistemele tehnice de comunicaţie, constă în a repeta transmisia mesajului de un număr de ori, ceea ce duce la îmbunătăţirea raportului semnal/zgomot la recepţie. În cazul sistemelor semantice, repetarea transmisiei se face la cererea receptorului şi numai pentru acea parte a mesajului care este incertă.

Metoda corelaţiei semantice se bazează pe posibilitatea receptorului de a stabili o legătură semantică între două sau mai multe structuri succesive, ceea ce împreună cu redundanţa, existentă în toate limbajele umane, permite refacerea, la recepţie, a unor mesaje, chiar dacă sînt complet acoperite de zgomot.

4.5. Modele structurale ale sistemelor instruibile

Pentru a putea pune în evidenţă capacitatea de instruire, un sistem — biologic sau tehnic — trebuie să fie format din următoarele părţi componente (fig. 4.9).

[1] M. Beliş, *Extragerea semnalului din zgomot în cazul transmisiei semantice*, Comunicare la sesiunea Academiei R.S.R., oct. 1976.

Scanned with OKEN Scanner

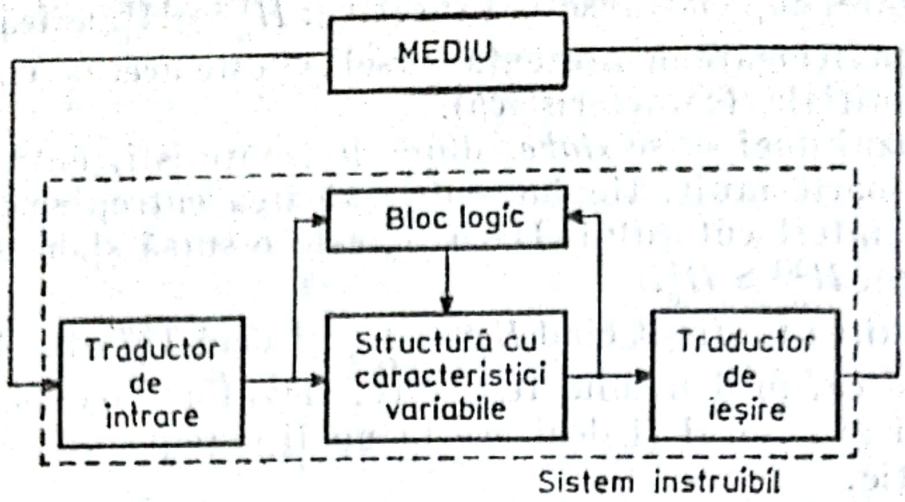


Fig. 4.9

— Traductori de intrare şi de ieşire care să-i asigure comunicaţia cu mediul, în ambele sensuri.

— Circuite logice capabile să prelucreze informaţia receptionată.

— O memorie în care să se înregistreze experienţa trecută.

— O structură versatilă care să-şi schimbe unele caracteristici în funcţie de activitatea sistemului.

Desigur, aceste părţi componente pot avea diverse grade de complexitate — atît în domeniul biologic, cît şi în cel tehnic — ceea ce condiţionează posibilităţile de instruire ale sistemului.

Astfel, varietatea şi calitatea traductorilor cu care este echipat sistemul condiţionează de la bun început cantitatea de informaţie pe care acesta o primeşte şi o transmite mediului înconjurător şi prin aceasta, varietatea şi complexitatea situaţiilor de instruire.

Informaţia primită trebuie prelucrată în vederea stabilirii utilităţii rezultatelor şi a elaborării unor comenzi care să ducă la îndeplinirea scopului. Cu cît scopurile urmărite sînt mai complexe, cu atît evaluarea rezultatelor acţiunilor este mai dificilă, implicînd etape intermediare sau scări de valori[1]. Aceasta face ca, în special pentru sistemele evoluate, instruirea să depindă puternic de capacitatea de prelucrare a informaţiei.

Dacă instruirea înseamnă înregistrarea unei anumite experienţe pentru a o folosi în situaţii similare, ulterioare, atunci

[1] Mariana Beliş, *Mecanismele inteligenţei*, Ed. ştiinţifică şi enciclopedică, Bucureşti, 1978.

este evident că un sistem fără memorie nu se poate instrui. Capacitatea și organizarea memoriei, rapiditatea regăsirii informației, tipurile de asociații care se stabilesc între diversele elemente informaționale, condiționează de asemenea procesul de instruire.

Transformarea informației în organizare structurală înseamnă, în cadrul instruirii, modificarea unor caracteristici structurale în urma executării repetate a unei anumite acțiuni. La sistemele biologice aceasta revine la modificări ale structurii nervoase; în cazul sistemelor tehnice se pot modifica parametrii sau conexiunile interne. Ceea ce este important, la ambele tipuri de sisteme, este ca aceste modificări, odată imprimate, să nu fie rigide, definitive și să poată fi schimbate în cadrul unui alt proces de instruire. Versatilitatea structurală asigură sistemului posibilitatea de a se adapta în permanență la situații noi, prin instruire.

În cele ce urmează vom analiza, mai îndeaproape, mecanismul prin care informația recepționată din mediu este transformată în organizare structurală. Aceasta este problema centrală a instruirii, care a fost rezolvată în diverse moduri în funcție de natura sistemului — biologic sau tehnic — și de gradul său de complexitate.

Se pot deosebi trei momente importante în cadrul acestui proces: acela în care, din mulțimea semnalelor sosite din mediu, sistemul separă pe cele care constituie rezultatele acțiunilor sale, apoi etapa în care se evaluează utilitățile diferitelor rezultate și în sfîrșit, aceea în care, în funcție de aceste utilități, se modifică anumite conexiuni sau parametri, structurîndu-se progresiv o anumită configurație fizică.

4.5.1. *Modul de diferențiere a stimulilor de rezultate*

Rezolvarea practică a problemei se poate face prin una din metodele următoare[1]:

a) În cazul proceselor de instruire simple, sistemul este prevăzut cu căi de acces diferite pentru semnalele stimulatoare

[1] M. Bellș, *Sinteza sistemelor evolutive* — Comunicare la simpozionul „Analiza și sinteza rețelelor electrice", București, oct. 1967.

Scanned with OKEN Scanner

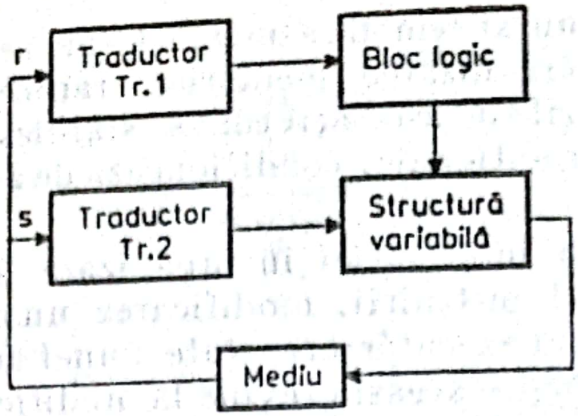


Fig. 4.10

și pentru cele de rezultat (fig. 4.10). Semnalele ce trec prin traductorul Tr_1 constituie semnalele rezultat, iar semnalele ce trec prin traductorul Tr_2 sînt semnalele stimulatoare. Pentru a asigura desfășurarea corectă a procesului, traductoarele se plasează în puncte diferite ale mediului sau, dacă se plasează în același punct, ele sînt sensibile la mărimi fizice diferite.

Aceasta constituie însă o soluție simplistă care limitează considerabil posibilitățile sistemului.

b) Sistemul deosebește cele două tipuri de semnale pe baza corelației temporale care există între stimul, răspuns și rezultat:

$$s(t) \rightarrow a(t+\Delta t_1) \rightarrow r(t+\Delta t_1+\Delta t_2)$$

unde:

Δt_1 este întîrzierea suferită de semnalele stimulatoare la trecerea prin sistemul instruibil iar Δt_2 întîrzierea suferită de semnalele de răspuns la trecerea prin mediu.

Unui răspuns a dat la momentul $t+\Delta t_1$ îi corespunde un rezultat întîrziat cu timpul Δt_2 în funcție de caracteristicile mediului și de procesul în curs. Domeniul de variație al lui Δt_2 este dat de inegalitățile

$$0 < \Delta t_2 \leqslant \Delta t_{2max},$$

în care Δt_2 max este limita superioară a intervalului de timp în care perechea răspuns-rezultat mai poate fi considerată corelată. Există un interval de timp optim pentru producerea semnalelor de rezultat în care eficacitatea comenzii este maximă (fig. 4.11).

Menționăm că această metodă este curent utilizată de sistemele biologice care, după efectuarea unei acțiuni, „așteaptă" sosirea informației referitoare la rezultatul aferent.

Scanned with OKEN Scanner

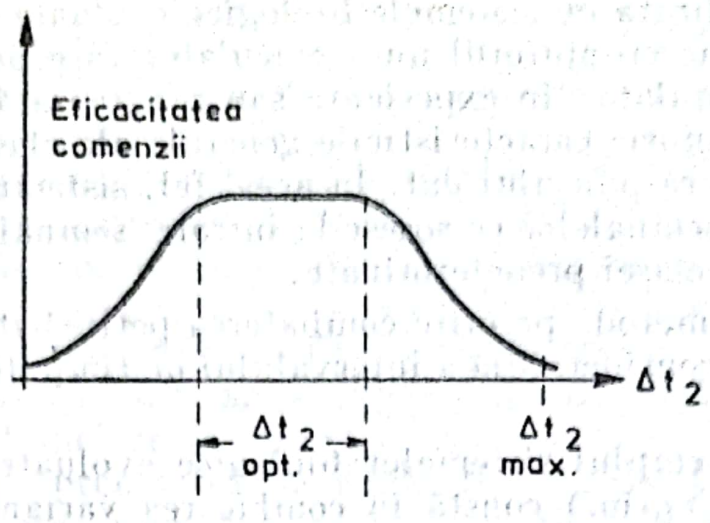


Fig. 4.11

Un model tehnic funcţionînd pe acest principiu se reprezintă în fig. 4.12. Prin traductorul de intrare Tr_1 pot trece atît semnalele stimulatoare cît şi cele de rezultat. În starea iniţială, poarta P_1 e deschisă şi P_2 închisă, astfel încît semnalele stimulatoare s trec prin sistem şi determină un răspuns a. Circuitul basculant monostabil de comandă, închide poarta P_1 şi deschide poarta P_2; începînd din acest moment se pot recepţiona semnalele de rezultat care comandă variaţia structurii automatului. Intervalul de recepţie a rezultatelor, Δt_2, este determinat de perioada de revenire a circuitului monostabil, ceea ce redă sistemului posibilitatea de a recepţiona stimulii.

c) Sistemul deosebeşte cele două tipuri de semnale pe baza corelaţiei logice (cauzale) dintre răspuns şi rezultat. Această

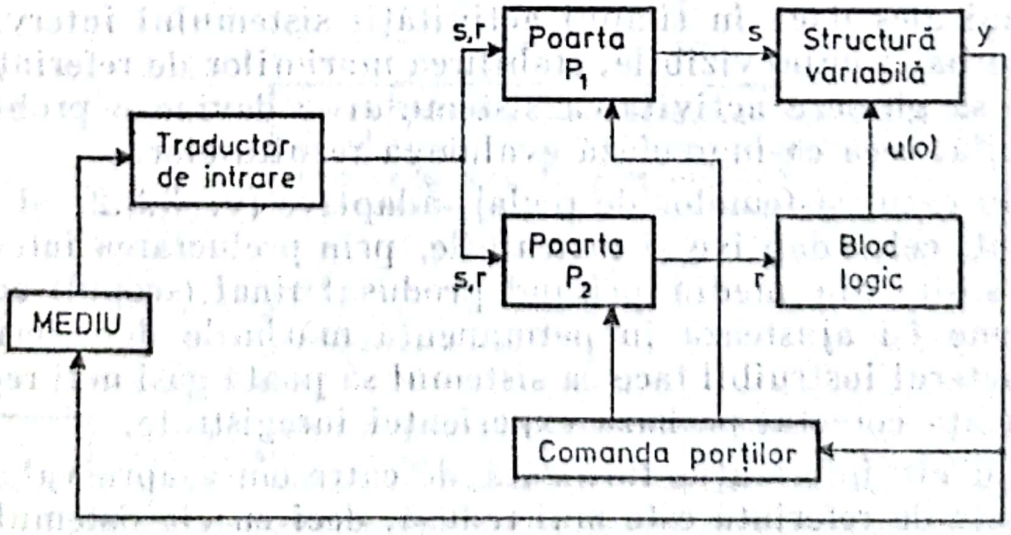


Fig. 4.12

Scanned with OKEN Scanner

metodă utilizată de sistemele biologice evoluate poate fi modelată tehnic cu ajutorul unui calculator care pe baza informaţiei acumulată din experienţă sau programată are înregistrate în memorie caracteristicile generale ale clasei rezultatelor aferente răspunsului dat. În acest fel, sistemul separă din totalitatea semnalelor ce sosesc la intrare semnalul „rezultat" ce aparţine clasei predeterminate.

Această metodă permite combaterea perturbaţiilor precum şi o mărire considerabilă a intervalului de timp dintre răspuns şi rezultat.

După exemplul sistemelor biologice evoluate, metoda de diferenţiere optimă constă în combinarea variantelor *b* şi *c*.

4.5.2. *Evaluarea utilităţilor rezultatelor*

Un sistem instruibil trebuie să poată evalua rezultatele acţiunilor sale, în lumina scopului urmărit. Aceasta revine la a compara rezultatul fiecărui răspuns cu o mărime de referinţă de aceeaşi natură şi care este rezultatul răspunsului optim. Dacă acesta este chiar scopul, atunci ne găsim în cazul unui sistem de reglaj automat obişnuit al cărui detector de eroare determină abaterea faţă de mărimea de referinţă. În sistemele de reglaj, fixarea valorii de referinţă o face omul, care determină această valoare pe baza scopului general pe care îl îndeplineşte instalaţia de reglaj.

Cu cît scopul urmărit este mai complex, el este caracterizat printr-un număr mai mare de parametri şi implică pentru îndeplinirea sa un număr de etape intermediare. În acest caz, şi mai ales dacă în timpul activităţii sistemului intervin şi perturbaţii imprevizibile, stabilirea mărimilor de referinţă — care să ghideze activitatea sistemului — devine o problemă dificilă, ceea ce îngreuiază evaluarea rezultatelor.

În cazul sistemelor de reglaj, adaptive (v. 3.3.2) şi mai recent, cele adaptive şi instruibile, prin prelucrarea informaţiei sosite din mediu privind produsul final (scopul) aceste sisteme îşi ajustează în permanenţă mărimile de referinţă. Caracterul instruibil face ca sistemul să poată găsi mai repede referinţa corectă, pe baza experienţei înregistrate.

Cu cît informaţia furnizată de către om asupra valorilor corecte de referinţă este mai redusă, deci cu cît sistemul găseşte prin experienţă proprie aceste valori, cu atît se accentuea-

Scanned with OKEN Scanner

ză caracterul său instruibil. Evident, un minim de informaţie trebuie comunicat sistemului, referitor la scopul general urmărit; sistemul îşi stabileşte însă singur modul şi etapele îndeplinirii lui.

Această informaţie, generală, poate fi comunicată fie din exterior, prin intermediul traductorilor, fie se poate găsi inclusă în sistem. Un exemplu din ultima categorie îl oferă sistemele biologice la care, printr-o lungă selecţie naturală, s-au fixat criteriile de bună funcţionare organică în raport cu care sistemul îşi menţine echilibrul homeoastazic; referinţele organice sînt incluse în sistem.

Modelarea procesului de evaluare a utilităţilor implică deci cunoaşterea scopului, elaborarea unei strategii pentru îndeplinirea sa, strategie care poate cuprinde mai multe etape intermediare (subscopuri), determinarea mărimilor de referinţă în fiecare etapă în parte şi compararea rezultatelor curente cu aceste mărimi.

În figura 4.13 este reprezentată, schematic, organizarea blocului de evaluare a utilităţii rezultatelor în cazul unei surse interne de referinţă, iar în fig. 4.14 în cazul unei surse externe.

4.5.3. *Transformarea informaţiei în organizare structurală*

În forma sa cea mai simplă, procesul de instruire constă în formarea unei legături stabile stimul-răspuns, legătură optimă din punctul de vedere al îndeplinirii unui scop. Aceasta revine la întărirea unor conexiuni dintre anumiţi centri receptori şi efectori. În formele mai complexe de instruire are

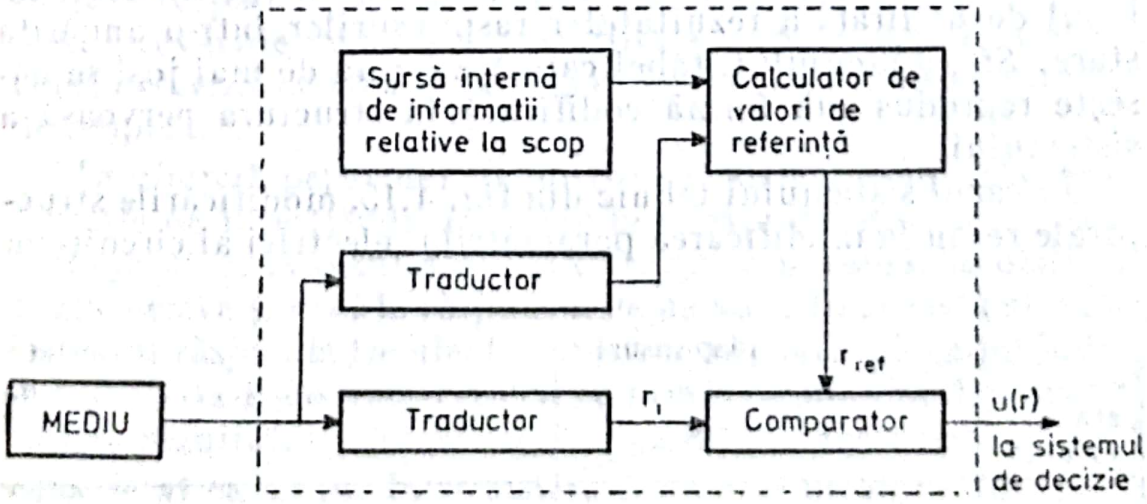


Fig. 4.13

Scanned with OKEN Scanner

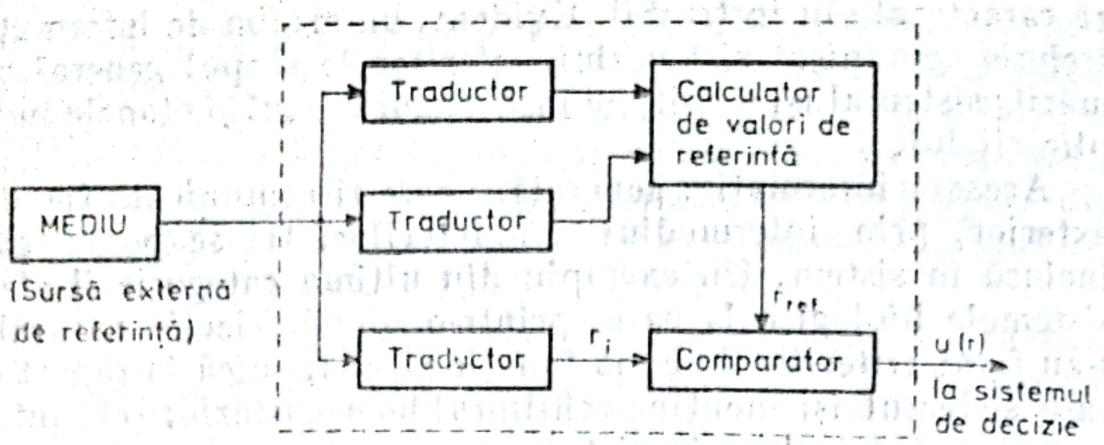


Fig. 4.14

loc structurarea unei anumite configuraţii interne, responsabilă de modificările funcţionale ale sistemului.

Se pune problema găsirii mecanismului prin care informaţia acumulată în timpul experienţelor de instruire poate determina modificări structurale ale sistemului. Există diverse soluţii biologice, în funcţie de complexitatea sistemului, soluţii care sugerează diverse modele tehnice.

a) **Întărirea automată a conexiunilor utile.** În cazul sistemelor instruibile simple, întărirea conexiunilor stimul-răspuns se face în mod automat, proporţional cu utilitatea rezultatelor respective.

La sistemele biologice, întărirea conexiunii constă în facilitarea comunicaţiei transinaptice spre organele efectoare care au determinat răspunsuri de utilitate ridicată. Prin repetarea experienţei are loc un proces cumulativ ce determină blocarea căilor prin care se comandă răspunsuri cu utilitate redusă şi creşterea conductanţei căilor prin care se comandă răspunsuri de utilitate ridicată. La încheierea procesului, tabelul de utilităţi a rezultatelor răspunsurilor într-o anumită stare, St_k, a mediului, tabel care are forma de mai jos, se găseşte reprodus sub formă codificată în structura nervoasă a sistemului.

În cazul sistemului tehnic din fig. 4.15, modificările structurale revin la modificarea parametrilor electrici ai circuitelor

stare mediu \ răspunsuri	$a_1 a_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots a_m$
St_k	$u_{1k} u_{2k} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots u_{mk}$

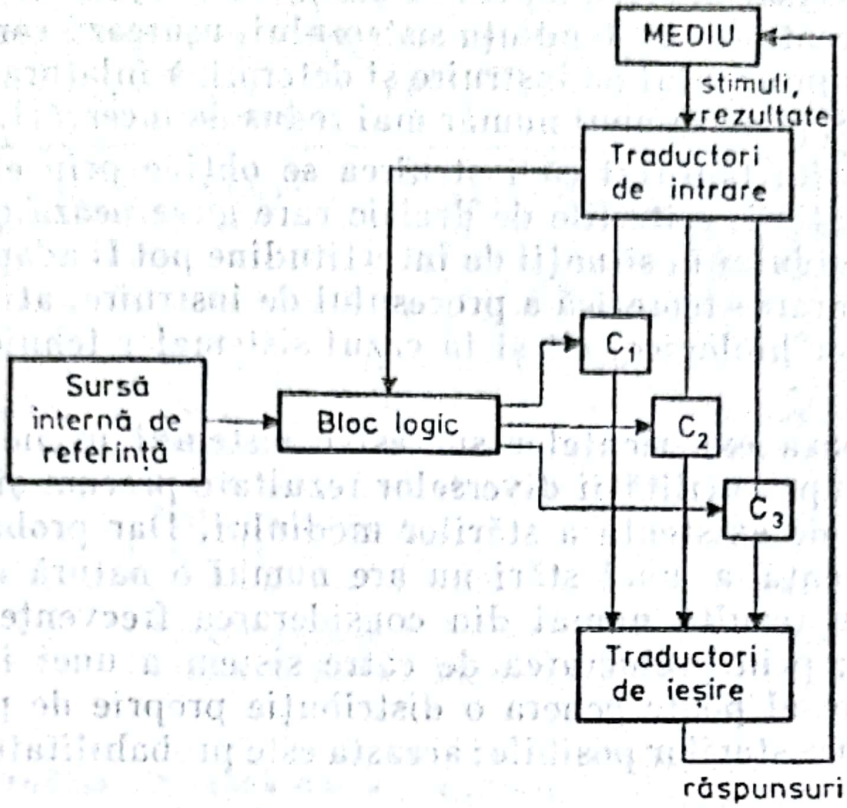


Fig. 4.15

de legătură (c) cu traductorii de ieşire, ce determină diferite răspunsuri. Modificările sînt comandate de către blocul logic şi depind direct de valoarea indicelui de utilitate obţinut în urma răspunsului respectiv.

b) Întărirea conexiunilor utile cu ajutorul unui sistem de decizie. Sistemele instruibile perfecţionate pot înregistra în memorie distribuţia de utilităţi a rezultatelor şi pe baza posibilităţilor de prelucrare a informaţiei de care dispun îşi aleg singure răspunsul optim conform unor criterii de decizie. Sisteme prevăzute cu aceste posibilităţi se pot instrui în condiţiuni deosebit de complexe şi pot urmări o varietate mai mare de scopuri.

În timpul perioadei de instruire, sistemul se află într-o situaţie de incertitudine relativ la adevărata stare a mediului înconjurător, la rezultatele diferitelor răspunsuri, la utilităţile respective şi deci la răspunsurile de ales. În această situaţie, sistemul răspunde fie aleator, ceea ce îi poate aduce prejudicii grave, fie în baza unor criterii ce urmăresc maximalizarea utilităţii rezultatelor obţinute. Procesul de instruire poate fi considerat ca un joc între sistem şi mediul înconjurător, joc în care sistemul urmăreşte maximalizarea utilităţii în prezenţa

Scanned with OKEN Scanner

unui adversar neutru; faptul că mediul înconjurător nu urmăreşte să contracareze tendinţa sistemului, uşurează considerabil evoluţia procesului de instruire şi determină înlăturarea incertitudinii, pe baza unui număr mai redus de încercări.

Datorită faptului că instruirea se obţine prin eliminarea incertitudinii, criteriile de decizie care guvernează comportarea individului în situaţii de incertitudine pot fi adaptate pentru încadrarea teoretică a procesului de instruire, atît în cazul sistemelor biologice, cît şi în cazul sistemelor tehnice perfecţionate.

Pe baza experienţelor succesive sistemul primeşte informaţii asupra utilităţii diverselor rezultate precum şi a probabilităţii de existenţă a stărilor mediului. Dar probabilitatea de existenţă a unei stări nu are numai o natură obiectivă, adică nu rezultă numai din considerarea frecvenţelor ei de apariţie; prin prelucrarea de către sistem a unei informaţii auxiliare, el poate genera o distribuţie proprie de probabilităţi asupra stărilor posibile; aceasta este probabilitatea subiectivă[1].

Pe baza experienţelor succesive, sistemul trece de la condiţiile de incertitudine iniţială la cele de risc şi în sfîrşit la starea de certitudine finală. În această ultimă etapă, starea mediului este cunoscută cu certitudine ca şi utilităţile diferitelor rezultate în această stare. Problema de decizie este atunci banală şi se reduce la selectarea răspunsului cu utilitate maximă.

În general instruirea sistemelor începe cu etapa a treia, mai rar cu a doua şi aproape niciodată cu prima, ceea ce uşurează mult evoluţia procesului. Aceasta se explică, în cazul sistemelor biologice, prin acumularea de informaţie la scara speciei şi transmiterea sa prin ereditate şi educaţie sau, în cazul sistemelor tehnice, printr-o programare iniţială.

Utilizarea unor criterii de decizie are pe lîngă avantajul instruirii în situaţii deosebit de complexe pe acela al posibilităţii comunicării din exterior a informaţiei referitoare la utilităţi şi probabilităţi, ceea ce micşorează numărul de experienţe necesare. Funcţionarea sistemului de decizie depinde de gradul de incertitudine în care se află sistemul instruibil, adică de cantitatea de informaţie iniţială cu care a fost prevăzut şi de etapa în care se găseşte în cadrul procesului de instruire.

---

[1] L. Savage, *The Foundations of Statistics*, Wiley, New York, 1954.

Scanned with OKEN Scanner

Tabel sinoptic al etapelor de instruire

Etapa	Caracterizarea	Criteriu de selectare a răspunsurilor	Utilitatea rezultatelor	Elemente necunoscute
1.	Ignoranță completă	Aleatoriu	$-1 < u < +1$	Natura stărilor, probabilitatea lor, utilitatea rezultatelor, rezultatele răspunsurilor
2.	Incertitudine	Maximin Minimax Hurwitz Rațiune insuficientă		Probabilitatea stărilor
3.	Risc	Maximalizarea utilității medii	$u_{io} = \sum_{j=1}^{m} p_{ij} u_{ij}$	Probabilitățile reale ale stărilor se cunosc treptat
4.	Certitudine	Maximalizarea utilității pe coloana stării k	$u_{ik} > u_{jk}$	—

Condițiile de incertitudine implică un sistem de decizie care să modeleze unul din cele patru criterii menționate în tabel.

Presupunem (în mod simplificat) că fiecare stare posibilă a mediului se traduce prin intermediul traductorilor de intrare prin cîte un semnal distinct, St_i. La ieșirea fiecărei celule „și" $_{ij}$ se obține un semnal proporțional cu utilitatea rezultatului răspunsului (i) în starea St_j a mediului. Aceasta se întîmplă deoarece celulele „și" sînt de un tip special; ele indică coincidența celor trei semnale (răspuns, utilitate, stare mediu) și, în același timp, dau la ieșire un semnal proporțional cu cel mai mic din cele trei aplicate. Cum utilitatea normată nu poate depăși unitatea, se va prevedea ca semnalele date de circuitele de comandă a răspunsurilor (a_i) precum și cele date de traductorii de intrare (St_j) să fie mai mari decît unu. Celulele de memorie cu condensator de la ieșirea circuitelor „și" înregistrează valorile diferitelor utilități u_{ij}.

Criteriul maximin impune alegerea utilității minime ce se poate obține cu un anumit răspuns în diferite condiții de mediu, ceea ce se realizează cu selectoarele de minim $S_{i\ \min}$ și apoi alegerea răspunsului care maximalizează utilitatea minimă, ceea ce se realizează cu selectorul de maxim $S_{\max}$.

Scanned with OKEN Scanner

Condițiile de risc implică deducerea treptată, prin experiență a probabilităților de existență a diferitelor stări ale mediului, pentru a se putea calcula utilitatea medie a fiecărei acțiuni. Aceasta este o problemă dificilă pentru un sistem tehnic, implicînd un calculator de probabilități. Omul își formează o reprezentare a probabilității unui eveniment, chiar dacă nu explicitează această reprezentare sub forma numerică. De aceea, în mod normal, sistemul tehnic trebuie programat cu valorile acestor probabilități.

Condițiile de certitudine implică cunoașterea certă a stării mediului precum și a utilităților diverselor rezultate în acea stare. În acest caz, funcționarea sistemului de decizie este simplă și revine la selectarea răspunsului corespunzător utilității maxime.

4.6. Învățarea recunoașterii formelor

4.6.1. *Aspecte biologice*

Prelucrarea informației optice se efectuează la diferite nivele, începînd cu retina și terminînd cu ariile corticale, aferente analizorului vizual.

Prin prelucrare se înțelege orice transformare a semnalelor neurale între punctul de recepție (în contact cu mediul extern) și punctul de înregistrare sau de elaborare a unei decizii.

Studiile efectuate în ultimii 15 ani au adus precizări importante în ceea ce privește structura și funcționarea sistemului de transmisie și prelucrare a informației vizuale.

În ceea ce privește structura, tehnici moderne au permis implantarea unor microelectrozi într-un axon sau într-o celulă nervoasă și înregistrarea impulsurilor electrice consecutive unor stimuli luminoși aplicați în diferite puncte ale retinei. În felul acesta s-au putut delimita *cîmpurile vizuale* ale retinei adică ansamblul celulelor receptoare de pe retină care excită un același neuron ganglionar (fig. 4.16). Acest neuron descarcă numai atunci cînd sînt excitate celulele aferente cîmpului său vizual și este insensibil la excitarea celulelor din afara cîmpului. *Răspunsul* acestui neuron reprezintă o primă

Scanned with OKEN Scanner

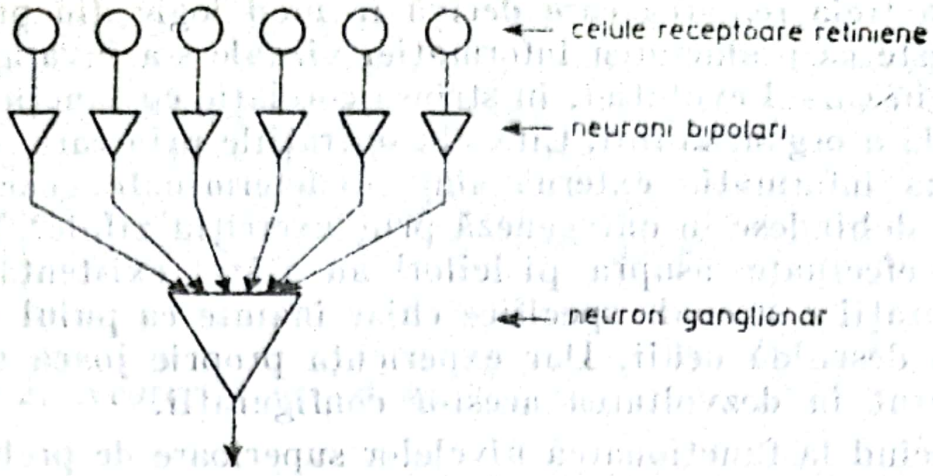


Fig. 4.16

treaptă de *recunoaștere* a imaginilor, care sînt analizate astfel, în funcție de poziția și forma cîmpurilor retiniene. Dar, prin însăși structura lor, receptorii retinieni pot da informații suplimentare.

Astfel, din studierea sistemului nervos al broaștei a reieșit că retina sa conține cinci grupe de celule, sensibile la stimuli diferiți și care pun în evidență următoarele caracteristici ale imaginii: contrast local, curburi în mișcare, modificări de contrast și întunecare locală. Și la om o caracteristică interesantă a celulelor din cîmpul receptor vizual o constituie faptul că majoritatea dintre ele răspund cu un tren de impulsuri numai la începutul și sfîrșitul excitației luminoase, dar nu și pe durata ei.

Dacă se compară complexitatea prelucrării informației la nivel retinian, la broască, cu aceea observată la mamiferele superioare (pisica sau maimuța) se observă că, în cursul evoluției, odată cu dezvoltarea sistemului nervos central, funcția de prelucrare a informației a fost preluată de centrii corticali care dispun de posibilități mai ridicate în raport cu centrii receptori.

O a doua remarcă se referă la faptul că, așa cum rezultă din caracteristicile detectate de retina de broască, acestea au o semnificație vitală și nu sînt simple copii ale lumii externe: broasca sesizează obiectele în mișcare, insectele, pe care le vînează, se ferește de dușmani de dimensiuni mari (întunecare locală) etc. Rezultă că prelucrarea informației vizuale urmărește în primul rînd extragerea acelor caracteristici cu valoare funcțională pentru organism.

Scanned with OKEN Scanner

O a treia remarcă care derivă în mod logic din primele două este că prelucrarea informației vizuale s-a învățat progresiv în cursul evoluției, în strînsă corelație cu funcționarea generală a organismului. Cîte din operațiile prin care se prelucrează informația externă sînt predeterminate genetic și cîte se dobîndesc în ontogeneză prin exercițiu zilnic? Experiențe efectuate asupra pisicilor[1] au arătat existența unor configurații neuronale specifice chiar înainte ca puiul de pisică să deschidă ochii. Dar experiența proprie joacă un rol imporatnt în dezvoltarea acestor configurații.

Trecînd la funcționarea nivelelor superioare de prelucrare a informației, se observă că, în diversele etape succesive, se efectuează o generalizare în cursul căreia se elimină detaliile obiectului recepționat, păstrîndu-se numai însușirile fundamentale.

Într-adevăr, în prima etapă de prelucrare a informației aceea de *discriminare*, au loc operații de intensificare a conturului, de comparare și ordonare a unor indici cantitativi astfel încît forma recepționată să fie extrasă din fondul informațional pe care se proiectează[2]. Urmează operațiile de standardizare a dimensiunilor și poziției și de extragere a mesajului din zgomot (pe baza unei amplificări selective sau a autocorelației).

În a doua etapă are loc operația de *identificare* a formei, prin care se *recunoaște* apartenența ei la o clasă ale cărei caracteristici sînt înregistrate în memorie. Este în fond o operație de *clasificare* prin care caracteristicile (simplificate) ale obiectelor se compară cu caracteristicile claselor, pentru a stabili apropierea maximă.

Cercetări relativ recente au pus în evidență organizarea spațială a neuronilor din cortexul vizual; există trei straturi suprapuse, fiecare avînd o organizare bidimensională și efectuînd o anumită operație în procesul de recunoaștere. Organizări similare se găsesc și în celelalte arii corticale. Dealtminteri, indiferent de tipul analizatorului considerat, informația este codificată spațial formînd configurații neuronale.

Recunoașterea se poate efectua atît la nivel unisenzorial cît și polisenzorial. În acest ultim caz se iau în considerare

---

[1] D. H. Hubel, *The visual cortex of the brain*, în „Scientific American" nov. 1963, p. 54–62.

[2] M. Golu, *Principii de psihologie cibernetică*, Ed. științifică și enciclopedică, București, 1975.

Scanned with OKEN Scanner

mesajele provenite de la diferite tipuri de receptoare. Relaţiile intersenzoriale se stabilesc, la mamifere, la nivelul cortexului. Ele fac posibilă recunoaşterea unor forme a căror elemente aparţin mai multor domenii senzoriale.

Agnoziile apar ca fiind expresia unor disfuncţii la diferite niveluri ale mecanismelor de recunoaştere.

4.6.2. *Neurocibernetica agnoziilor*

Problema agnoziilor este deosebit de importantă în neurologia clinică (unde este implicată în diagnoza topografică a leziunilor cerebrale), precum şi în neuropsihologie (unde apare ca o deteriorare a funcţiei de recunoaştere).

Recunoaşterea unei forme înseamnă a indica apartenenţa ei la o clasă. Mulţimea semnalelor stimulatoare $\{S\}$ este împărţită deci în clase $\{C\}$ cărora le corespund răspunsuri $\{R\}$. Formarea claselor de apartenenţă este, pe de o parte, condiţionată genetic iar, pe de altă parte, are loc pe baza unui proces de învăţare.

Stabilirea corespondenţei corecte între stimulii S_i şi clasele C_j este problema de bază a recunoaşterii formelor. Deteriorarea mecanismului prin care creierul îndeplineşte această sarcină duce la agnozii[1]. Pentru a analiza din punct de vedere cibernetic acest mecanism, vom începe prin a construi un model al transpunerii mediului înconjurător în creier.

O sursă fizică de semnale este o colecţie de simboluri elementare pe care îi vom numi indici (m_i); aceştia reprezintă proprietăţi fizice, ce pot fi detectate cu organele noastre senzoriale. Unele dintre ele sînt constante şi deci caracteristice sursei, altele sînt variabile.

O sursă fizică poate fi reprezentată printr-un graf $G(M,\sigma_m)$ ale cărui vîrfuri sînt elementele mulţimii finite a indicilor $M=\{m_1, m_2,..., m_n\}$, iar arcele reprezintă probabilitatea condiţionată $p(m_i/m_j)$ a elementului m_i în prezenţa elementului m_j. Întrucît $p(m_i/m_j)\neq p(m_j/m_i)$ două vîrfuri sînt unite prin două arce cu sensuri diferite; graful unei surse este sime-

---

[1] C. Bălăceanu, M. Beliş, *The Neurocybernetics of Agnosia*, Comunicare la Congresul internaţional de cibernetică, Londra, 1969.

Scanned with OKEN Scanner

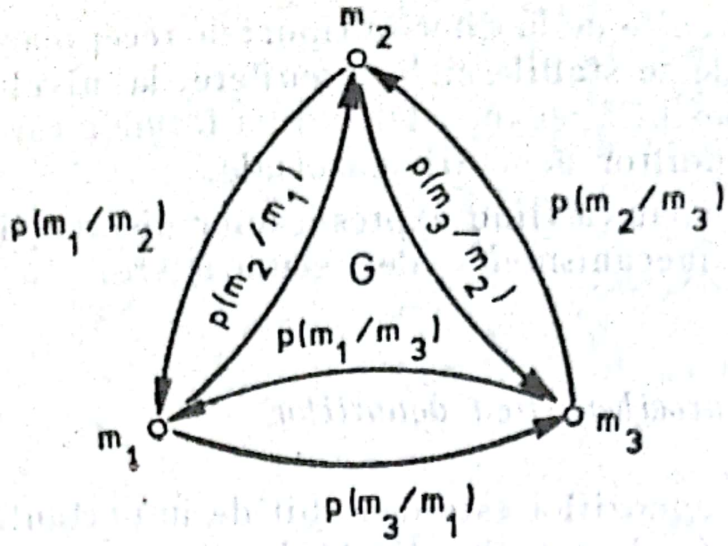


Fig. 4.17

tric și puternic conex (fig. 4.17). Fiecărui graf îi corespunde o matrice de tipul:

$$M_1 = \left\| \begin{array}{l} p(m_1/m_1) \ldots\ldots\ldots\ldots p(m_1/m_n) \\ p(m_2/m_1) \ldots\ldots\ldots\ldots p(m_2/m_n) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ p(m_n/m_1) \ldots\ldots\ldots\ldots p(m_n/m_n) \end{array} \right\|.$$

Suma termenilor pe o linie (de exemplu pe linia i) reprezintă puterea iterativă de ordinul 1 a elementului m_i:

$$\pi(m_i) = p(m_i/m_1) + \ldots + p(m_i/m_n).$$

Indicii unei surse (forme) pot fi ordonați după puterile lor iterative. Dacă $(m_i) = n$, indicele m_i este caracteristic sursei (apare cu certitudine în prezența oricărui alt indice al sursei).

Sursele exterioare se proiectează în sistemul biologic prin intermediul organelor senzoriale, fiecare element al sursei determinînd o schimbare de stare la nivel neuronal. Din punctul de vedere al modelului, recepția semnalelor stimulatoare reprezintă aplicația mulțimii $\{m_i\}$ a agenților fizici externi în mulțimea $\{m_i^*\}$ a schimbărilor neuronale,

$$\xi_1(m_i) = m_i^*.$$

Schimbările neuronale corespunzătoare caracteristicilor fizice detectate sînt transpuse — parțial — în memoria sistemului printr-un proces de codare-filtrare. Acesta reprezintă

Scanned with OKEN Scanner

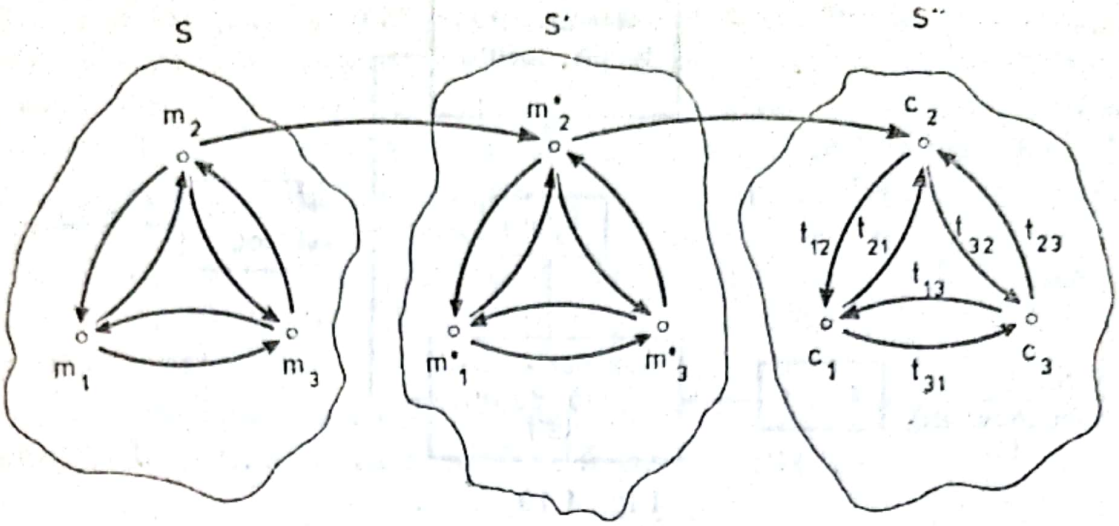


Fig. 4.18

o nouă aplicație a mulțimii $\{m_i^*\}$ a semnalelor neuronale circulante în mulțimea $\{c_i\}$ a celulelor de memorie:

$$\xi_2(m_i^*) = c_i .$$

Graful inițial G este transpus întîi în graful G' iar în final acesta este transpus în graful G'' care definește structura engramată (fig. 4.18). G'' este de asemenea un graf simetric și puternic conex, ale cărui vîrfuri corespund celulelor neuronale c (sau grupuri de neuroni) și ale cărui arce corespund pragurilor t_{ij} ale conexiunilor neuronale $(c_i\ c_j)$. Mulțimea T a acestor arce caracterizează memoria sistemului. Valoarea pragului t_{ij} variază invers proporțional cu probabilitatea stabilirii unei conexiuni între neuronii respectivi. Dăm mai jos matricea asociată grafului G''; fiecare simbol este caracterizat prin puterea sa iterativă:

$$\left\| \begin{array}{l} t_{11} \ldots\ldots\ldots t_{1n} \\ t_{21} \ldots\ldots\ldots t_{2n} \\ \vdots \\ t_{n1} \ldots\ldots\ldots t_{nn} \end{array} \right\| .$$

Din modelul de mai sus rezultă că fiecărei surse stimulatoare S_i îi corespunde o structură neuronală S_i' și o structură engramată S_i''. Fiecare din aceste structuri este o colecție de indici. Acești indici definesc un spațiu abstract, pluridimensional, în care sursa (forma) reprezintă un punct. Procesul de clasificare revine la a împărți spațiul în două sau mai multe regiuni de decizie cu ajutorul unor hiperplane. Fiecare regiune de decizie corespunde unei clase.

Scanned with OKEN Scanner

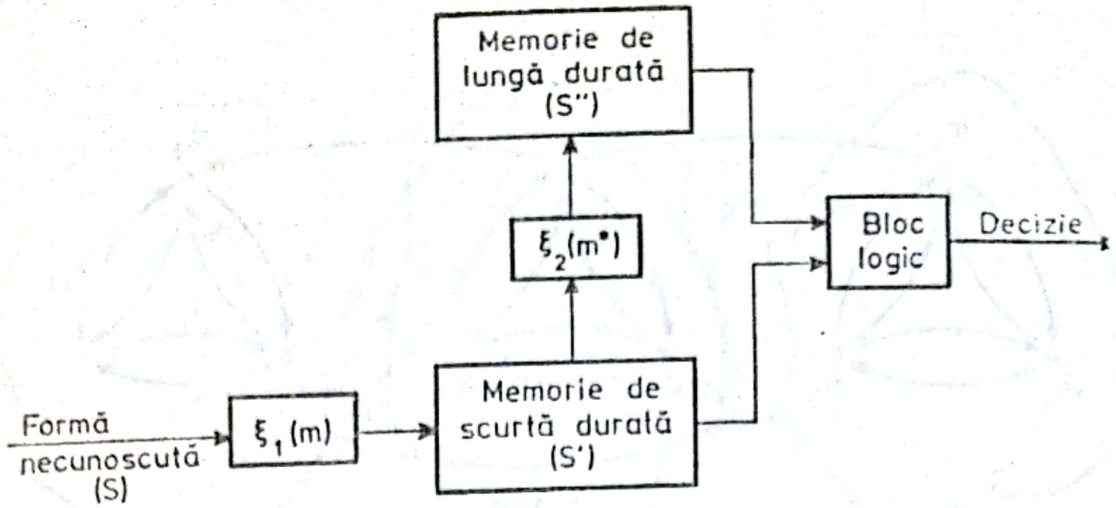


Fig. 4.19

În sistemul nervos împărţirea în clase se efectuează la nivelul engramelor. În creierul uman formarea claselor este uşurată prin existenţa limbajului care furnizează cuvinte-cod. Acestea uşurează de asemenea regăsirea informaţiei înregistrate (cuvinte-adrese de memorie).

Procesul de recunoaştere constă în a stabili apartenenţa unei forme S la o clasă C. Din punct de vedere neurofiziologic se efectuează o comparaţie între structura S_i' (provenind din forma S_i) şi structura neuronală S_i'' din memorie (fig. 4.19). Aceasta implică un mecanism de extragere sau activare a structurilor înregistrate în memoria de lungă durată pentru a fi comparate. Aceasta face posibilă nu numai recunoaşterea dar şi evocarea mesajelor înregistrate.

Recunoaşterea formelor se efectuează la diferite nivele ale sistemului nervos. Însăşi retina este capabilă de asemenea performanţe. Totuşi, cortexul cerebral este cel care efectuează în esenţă acest proces iar agnoziile sînt expresia clinică a leziunilor în această parte a sistemului nervos.

Recunoaşterea constă în a compara forma necunoscută cu formele standard ale diferitelor clase. Fiecare formă poate fi reprezentată printr-un vector n-dimensional, ceea ce duce la conceptul de distanţă intervectorială, bine cunoscut în psihologia recunoaşterii formelor.

Două criterii sînt de luat în considerare:

— forma S_i aparţine clasei C_j dacă distanţa d_{ij} dintre respectivii vectori e nulă;

— forma S_i aparţine clasei C_j dacă distanţa d_{ij} este mai mică decît un prag dat; acest ultim criteriu este utilizat de sistemele biologice.

Scanned with OKEN Scanner

În compararea vectorilor reprezentativi ai claselor cu cel necunoscut nu se iau în considerație toate componentele ci numai cele fundamentale (cu puteri iterative ridicate). Dacă din această comparație rezultă ambiguități, recunoașterea este falsă. Nu este o formă de agnozie ci un tip de dezordine caracteristică sindroamelor frontale. De obicei, în caz de ambiguitate, sistemul efectuează o nouă verificare a mesajelor primite și ia în considerare noi caracteristici. Procesul se poate repeta de mai multe ori.

În cazuri de ambiguitate decizia se ia deseori pe baza unei funcții de probabilitate, definită prin expresia:

$$L(S) = \log \frac{P(C_j/S_i)}{P(C_k/S_i)}$$

în care $P(C_j/S_i)$ și $P(C_k/S_i)$ sînt probabilitățile condiționate ale claselor C_j, respectiv C_k, în prezența formei S_i. Aceste probabilități depind de informația genetică, de experiența proprie, de informația asupra mediului, de starea internă a sistemului nervos. Regula de decizie este:

$$\left\{ \begin{matrix} C_j \\ C_k \end{matrix} \right\} \text{ dacă } L(S) \left\{ \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \right\} \Delta$$

unde Δ este un prag.

Această regulă duce la o aproximație; ea explică anumite iluzii cunoscute în psihologie sau psihiatrie. Acestea nu sînt manifestări ale agnoziei ci recunoașteri eronate datorită informației incomplete, perturbațiilor sau unor stări interne particulare (de exemplu, teroare).

Procesul de recunoaștere este, de obicei, precedat de diferite operații auxiliare pe care neurofiziologia le-a evidențiat:

a) intensificarea conturului — proces pus în evidență în retină și piele;

b) simplificarea structurilor, operație prin care se reține numai caracteristicile fundamentale. Algoritmul selectării acestor caracteristici poate fi deteriorat, ceea ce conduce la pseudoagnozii;

c) standardizarea formelor implică anumite transformări (măriri, micșorări, deplasări, rotații). Deteriorarea acestui mecanism duce la distorsiuni de percepție ca macropsiile, micropsiile și altele, observate în patologia lobului occipital și în anumite intoxicații (de ex. cu mescalină);

Scanned with OKEN Scanner

d) izolarea diferitelor forme în cîmpul percepţiei implică anumiţi algoritmi ca, spre exemplu, urmărirea contururilor închise;

e) extragerea semnalului din zgomot. Un mesaj poate fi detectat dacă depăşeşte nivelul zgomotului.

Pentru a îmbunătăţi detecţia semnalului în zgomot, nevraxul utilizează două căi:

— amplificare selectivă;

— o mediere statistică pe baza unei funcţii de autocorelaţie.

Recunoaşterea se efectuează la nivel unisenzorial şi polisenzorial.

În recunoaşterea unisenzorială se deosebesc mai multe etape succesive începînd cu periferia (de ex. retina pentru văz) şi terminînd cu ariile corticale. Cele mai complexe procese în recunoaşterea unisenzorială au loc în ariile parasenzoriale. Aceasta explică agnoziile unisenzoriale: vizuale, auditive, tactile etc. Recunoaşterea succesivă a caracteristicilor explică agnoziile parţiale, privind culorile, formele geometrice, muzică, litere, numere, cuvinte etc. În afara importanţei lor anatomo-clinice, aceste agnozii parţiale servesc la studiul mecanismului neural al recunoaşterii formelor.

Procesul de recunoaştere nu se opreşte la nivelul unisenzorial. Relaţiile intersenzoriale se stabilesc la nivel cortical ceea ce face posibilă recunoaşterea unor forme a căror elemente aparţin de domenii senzoriale diferite.

În recunoaşterea polisenzorială se efectuează sinteza caracteristicilor provenind de la aceeaşi sursă dar care ajung la creier prin canale diferite (văz, pipăit, miros). Această sinteză se efectuează în emisfera majoră, în regiunea parieto-temporo-occipitală şi este corelată cu funcţia limbajului (de unde corelaţia sa clinică cu unele forme de afazie).

În ceea ce priveşte mecanismul propriu-zis al recunoaşterii, utilizat de reţeaua neuronală, el nu se cunoaşte. Cel mai simplu principiu ar fi acela al comparării succesive a formei detectate cu formele standard ale diferitelor clase, înregistrate în memorie, pînă ce se găseşte asemănarea maximă. Avînd în vedere numărul mare de clase şi în special de caracteristici de luat în considerare, aplicarea acestui principiu ar lua mult timp, ceea ce nu se observă în cazul recunoaşterii biologice-umane.

Scanned with OKEN Scanner

Un algoritm util ar fi acela al identificării plecînd de la general la particular. Aceasta implică o organizare asociativă a memoriei, clasele cele mai generale avînd un număr minim de caracteristici. Compararea se efectuează întîi la acest nivel, după care se trece la analiza caracteristicilor particulare ale obiectului.

4.6.3. *Modele matematice şi tehnice*

A recunoaşte o formă înseamnă a stabili apartenenţa unui obiect la o clasă. Natura „obiectelor" este foarte diferită, incluzînd caractere tipografice sau scrise de mînă, unde sonore, semnale optice, simptome de maladii, date meteorologice sau parametrii de stare a unei instalaţii industriale.

Corespunzător acestor obiecte există domenii de cercetare în recunoaşterea scrisului, în clasificarea electrocardiogramelor sau a celulelor sanguine, recunoaşterea vorbelor, clasificarea terenurilor pe baza fotografiilor aeriene, diagnoza automată, prognoza automată a timpului şi clasificarea evenimentelor teleseismice, clasificarea stărilor unui sistem de reglaj automat.

În ceea ce priveşte clasele de apartenenţă, ele pot fi date sistemului o dată pentru totdeauna sau se pot forma progresiv în memoria sistemului prin învăţare.

Maşinile de recunoscut forme pot fi împărţite în două mari categorii: neinstruibile şi instruibile. Primele se caracterizează printr-o structură sau o programare rigidă, recunoaşterea efectuîndu-se asupra unor exemplare bine determinate din fiecare clasă. Prin proiectare, aceste maşini sînt destinate să recunoască obiecte tip, ale căror caracteristici corespund într-un mod bine determinat clasei din care fac parte.

Problema interesantă care se pune încă în recunoaşterea formelor este ca, plecînd de la o mulţime de obiecte a căror clasificare se cunoaşte (sau se deduce treptat), să se poată indica apartenenţa la una din clase a unui obiect nou, necunoscut, care prezintă unele caracteristici diferite de cele înregistrate. În acest caz, maşina trebuie să compare caracteristicile acestui nou obiect cu acelea ale diferitelor clase şi să-l încadreze în clasa cu care prezintă cea mai mare asemănare. Aceasta constituie a doua categorie de sisteme şi anume sistemele instruibile pentru recunoaşterea formelor. După felul în care se face instruirea distingem două subcategorii:

Scanned with OKEN Scanner

— Sistemele instruibile pentru recunoaşterea formelor controlate de instructor: în timpul perioadei de antrenare, maşinii i se prezintă diverse obiecte iar un sistem instructor exterior îi indică de fiecare dată clasa de apartenenţă.

— Sistemele instruibile pentru recunoaşterea formelor necontrolate de instructor: prezentarea obiectelor (sau eşantioanelor) se face fără nici o indicaţie, maşina trebuind să-şi formeze singură clasele prin, extragerea caracterelor esenţiale ale fiecăreia.

Sistemele de recunoaştere neinstruibile se realizează cu dispozitive specializate; destinaţia acestor sisteme este în general pur utilitară. Un interes teoretic şi practic îl prezintă sistemele de recunoaştere instruibile, cu şi fără instructor. Datorită complexităţii lor, aceste cercetări se efectuează cu ajutorul calculatoarelor, problema fiind încadrată în aceea mai largă, a inteligenţei artificiale[1].

Cele două mari probleme care trebuie rezolvate în elaborarea unui sistem de recunoaştere a formelor sînt problema extragerii şi codificării datelor ce definesc forma şi problema prelucrării acestor date. Prima este o problemă inginerească, practică; ea constă în găsirea unor traductori adecvaţi parametrilor fizici ai formei de clasificat. Există o mare varietate de astfel de dispozitive care transformă mesajele optice, sonore, calorice etc. ale formei, în semnale electrice, codate binar sau nu. Problema care se pune aci nu este atît „cum" să se efectueze transformarea cît „ce" anume să se transforme, sau, cu alte cuvinte, care sînt datele esenţiale ale formei, din totalitatea celor care o descriu, care pot duce prin prelucrare la o clasificare rapidă. Apare deci o problemă de observabilitate şi anume separarea informaţiei principale de cea secundară, problemă fundamentală în cazul unei forme caracterizate printr-un mare număr de parametri. Aceasta este o problemă dificilă, care face apel la experienţa şi intuiţia proiectantului.

Problema prelucrării datelor sau a algoritmului de clasificare este problema teoretică principală a recunoaşterii formelor. Ea se poate formula astfel: dîndu-se o formă X caracterizată printr-un număr de parametri x_1, x_2,..., x_n precum şi un număr de categorii (clase) C_1, C_2,...C_R, să se găsească apartenenţa lui X la una din clase. În termeni geometrici, problema se poate formula astfel: forma X poate fi re-

[1] Patrick H. Winston, *Artificial Intelligence*, Addison-Wesley Publishing Company, Massachussetts, 1977.

Scanned with OKEN Scanner

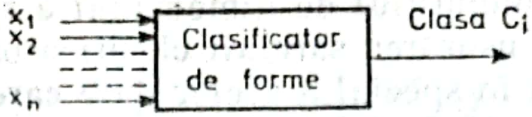


Fig. 4.20

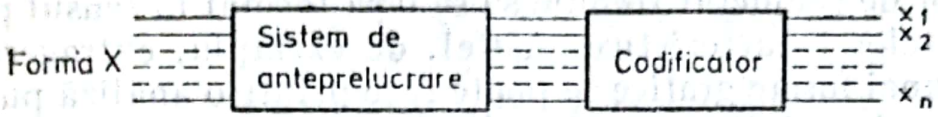


Fig. 4.21

prezentată ca un punct în spaţiul n-dimensional S^n, spaţiul parametrilor săi (sau prin vectorul ce uneşte originea cu acel punct). Un sistem de clasificare a formelor realizează o aplicaţie a punctelor din S^n în categoriile C_1, $C_2 \ldots C_R$ (fig. 4.20). Mulţimile de puncte din S^n, aparţinînd clasei C_i, sînt separate de celelalte prin „suprafeţe de decizie" definite prin anumite funcţii numite „funcţii discriminante". Toată problema unui sistem de recunoaştere a formelor constă în găsirea funcţiilor discriminante şi deci a suprafeţelor de decizie corespunzătoare.

Modul în care se realizează codificarea formei de recunoscut în semnale electrice poate influenţa considerabil algoritmul de recunoaştere. De aceea, elaborarea dispozitivului codificator se face în strînsă legătură cu algoritmul de recunoaştere ce urmează a fi utilizat. Există o mare varietate de astfel de dispozitive, în funcţie de natura fizică a parametrilor formei, de algoritmul de recunoaştere folosit şi de imaginaţia proiectantului. Indiferent de modul particular de efectuare a acestei transformări, o operaţie comună tuturor este aducerea obiectului la o formă cît mai apropiată de cea standard; aceasta este aşa-numita operaţie de anteprelucrare (fig. 4.21) care constă în:

— normalizarea formei din punct de vedere a mărimii, poziţiei etc.;

— izolarea formei de recunoscut de formele înconjurătoare a căror prezenţă constituie surse de zgomot (de exemplu pete negre lîngă litera de recunoscut);

— refacerea conturului prin medierea neregularităţilor sau completarea porţiunilor lipsă (se aplică în special la recunoaşterea caracterelor).

Extragerea propriu-zisă a datelor trebuie să urmărească în principal trei probleme:

— utilizarea unui sistem de codificare adecvat parametrilor fizici ai formei de recunoscut (celule fotoelectrice, baleiaj electronic, filtre etc.);

Scanned with OKEN Scanner

— reducerea numărului de dimensiuni a spaţiului original al formei pentru uşurarea sarcinii clasificatorului;

— extragerea în special a acelor date care prezintă un caracter de invarianţă mai pronunţat.

Ultimele două probleme sînt strîns legate, întrucît reducerea datelor de prelucrat trebuie să se facă tocmai în sensul păstrării datelor caracteristice. Astfel, de exemplu, extragerea datelor unei forme grafice se poate face printr-o analiză punct cu punct a imaginii, prin urmărirea conturului, prin punerea în evidenţă a unor elemente topologice (linii, curbe, unghiuri etc.) sau prin indicarea locurilor şi tipurilor de extremum (orizontale şi verticale) iar în cazul recunoaşterii vorbelor prin extragerea formanţilor (vîrfuri în spectrul de putere). Dacă sistemul este neinstruibil atunci această selecţie o face însuşi proiectantul, prin punerea în evidenţă a părţilor celor mai caracteristice ale formei.

Dacă sistemul este instruibil atunci aceste date caracteristice nu îi sînt cunoscute iniţial şi sistemul trebuie să le scoată singur în evidenţă prin prelucrarea unui număr mult mai mare de date. În acest caz după determinarea de către blocul logic a elementelor formei care furnizează maximum de informaţie, codificatorul se sensibilizează pentru acele elemente şi se desensibilizează pentru celelalte, reducîndu-se astfel cantitatea de informaţie necesar a fi prelucrată.

Clasificarea liniară[1]. În cazul în care regiunile de decizie sînt convexe, suprafeţele de decizie sînt hiperplane iar funcţiile discriminante sînt liniare:

$$g(X)=w_1x_1+w_2x_2+\ldots+w_nx_n+w_{n+1},$$

unde x_1, $x_2\ldots x_n$ sînt componentele vectorului X reprezentativ al formei, iar w_1, $w_2\ldots w_n$, parametrii hiperplanului W de separaţie a două clase; (w_1, $w_2\ldots w_n$) definesc orientarea hiperplanului, iar w_{n+1} defineşte poziţia sa faţă de origine (fig. 4.22).

Scriind ecuaţia hiperplanului sub forma:

$$X\cdot W=W_{n+1},$$

punem în evidenţă faptul că recunoaşterea apartenenţei formei la o clasă se efectuează proiectînd vectorul reprezentativ al formei pe hiperplanul de separaţie a clasei şi căutînd semnul acestui produs, ceea ce va indica dacă vectorul s-a aflat la dreapta sau la stînga hiperplanului, deci într-o clasă sau alta.

---

[1] Nils J. Nilsson, *Learning Machines*, Mc Graw Hill, New York, 1965.

Scanned with OKEN Scanner

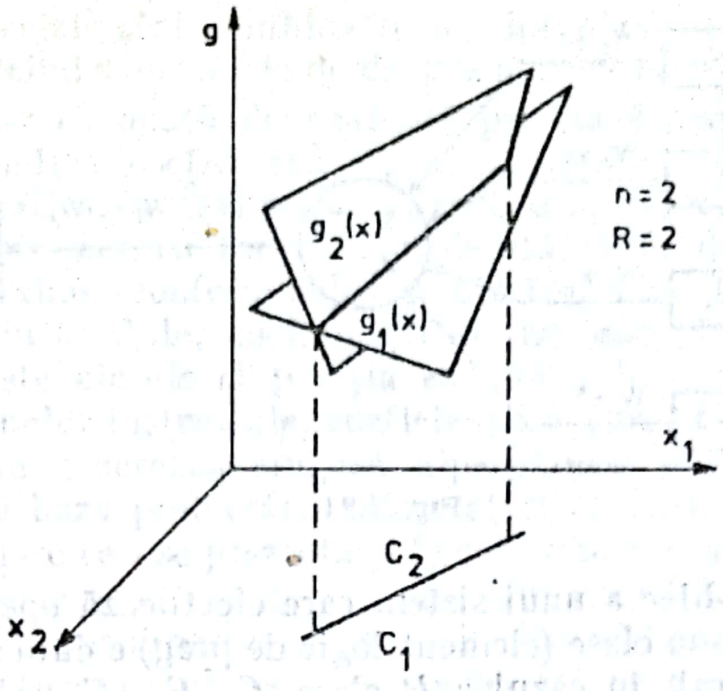


Fig. 4.22

Fie cazul particular a două clase distincte ($R=2$). Notăm cu X_1 mulţimea vectorilor X ce aparţin clasei C_1 şi cu X_2 mulţimea vectorilor X ce aparţin clasei C_2 (fig. 4.23). Găsirea apartenenţei la o clasă se face căutînd semnul funcţiei discriminante:

$g(X)>0$ pentru orice X în X_1,
$g(X)<0$ pentru orice X în X_2.

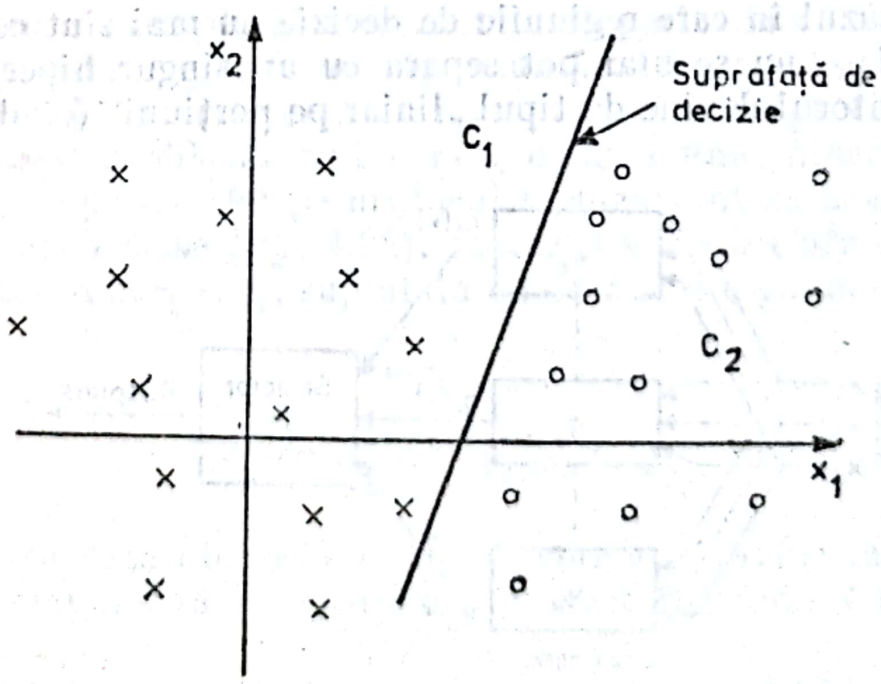


Fig. 4.23

Scanned with OKEN Scanner

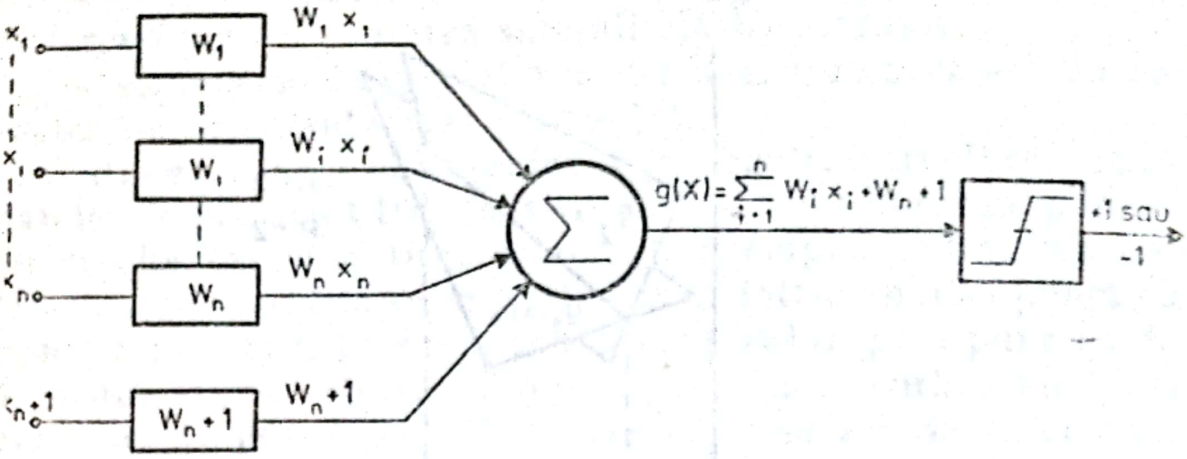


Fig. 4.24

Schema-bloc a unui sistem care efectuează operaţia de separare în două clase (element logic de prag) e dată în fig. 4.24.

În general, în cazul a R clase, C_1, $C_2 \ldots C_R$, clasificatorul trebuie să calculeze toate funcţiile discriminante $g_1(X)$, $g_2(X)$... $\ldots g_k(X)$ şi să atribuie vectorul X acelei clase i pentru care

$$g_i(X) > g_j(X) \text{ pentru orice } X \text{ în } C_i$$

$$i = 1, \ldots R,$$

$$j = 1 \ldots R, \; j \neq i.$$

Aceasta se poate obţine cu schema din fig. 4.25 care rezultă imediat din generalizarea schemei precedente.

În cazul în care regiunile de decizie nu mai sînt convexe, două clase nu se mai pot separa cu un singur hiperplan şi clasificatorul devine de tipul „liniar pe porţiuni“ (cînd supra-

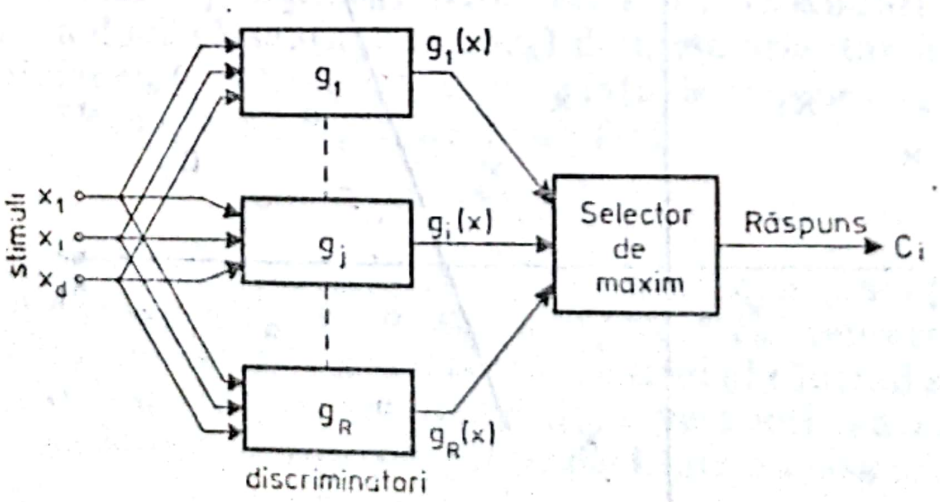


Fig. 4.25

feţele de decizie sînt combinaţii de hiperplane) sau de tipul „neliniar" (cînd suprafeţele de decizie sînt oarecare).

Este clar că odată determinată poziţia hiperplanelor de separaţie, adică coeficienţii w_i ai funcţiilor discriminante liniare, clasificarea unei forme se reduce la calculul funcţiei discriminante pentru forma considerată şi la determinarea funcţiei maxime, conform schemei din fig. 4.23. În cazul sistemelor neinstruibile, coeficienţii w sînt daţi de proiectant care cunoaşte clasele şi poziţia corectă a hiperplanelor. În cazul sistemelor instruibile, coeficienţii w sînt determinaţi de maşina care generează singură hiperplanele de separaţie a claselor, pe baza prelucrării informaţiei obţinute de la diversele exemplare ce i se prezintă şi beneficiind sau nu de indicaţiile unui sistem instructor exterior. După modul cum se face generarea acestor hiperplane deosebim metode bazate pe algoritme statistice şi metode iterative bazate pe corectarea progresivă a erorii. Primele folosesc simultan întreg ansamblul de eşantioane prezentat în perioada de instruire pentru deducerea unor proprietăţi statistice ale claselor, ce servesc la calculul ponderilor şi deci la determinarea poziţiei hiperplanelor de separaţie. Metodele din cealaltă categorie folosesc succesiv eşantioanele prezentate în perioada de instruire pentru a ajusta progresiv poziţia hiperplanelor; în acest caz ponderile variază incremental în tot timpul activităţii maşinii.

Metode bazate pe algoritme statistice[1]. În perioada de instruire se determină exemplarul tipic al fiecărei clase (media statistică a exemplarelor prezentate în perioada de instruire) şi se corelează apoi forma de recunoscut cu acesta. Întrucît exemplarul tipic este şi el un punct din clasa respectivă (centrul clasei) problema revine la generarea unui hiperplan de decizie, perpendicular pe mijlocul segmentului ce uneşte centrele a două clase (fig. 4.26). În cazul a două clase C_1 şi C_2 avînd centrele c_1 şi c_2, suprafaţa de decizie are parametrii:

$$W = c_1 - c_2,$$

$$W_{n+1} = \frac{1}{2}(c_1 - c_2)(c_1 + c_2).$$

Pentru date binare, metoda de corelaţie revine la a compara, componentă cu componentă, vectorul formei medii a

[1] V. A. Kovalevski, *Zadacia repoznovania obrazov s tociki zrenia matematiceskoi statistiki*, Citaiuşcie avtomati, Kiev, 1965.

Scanned with OKEN Scanner

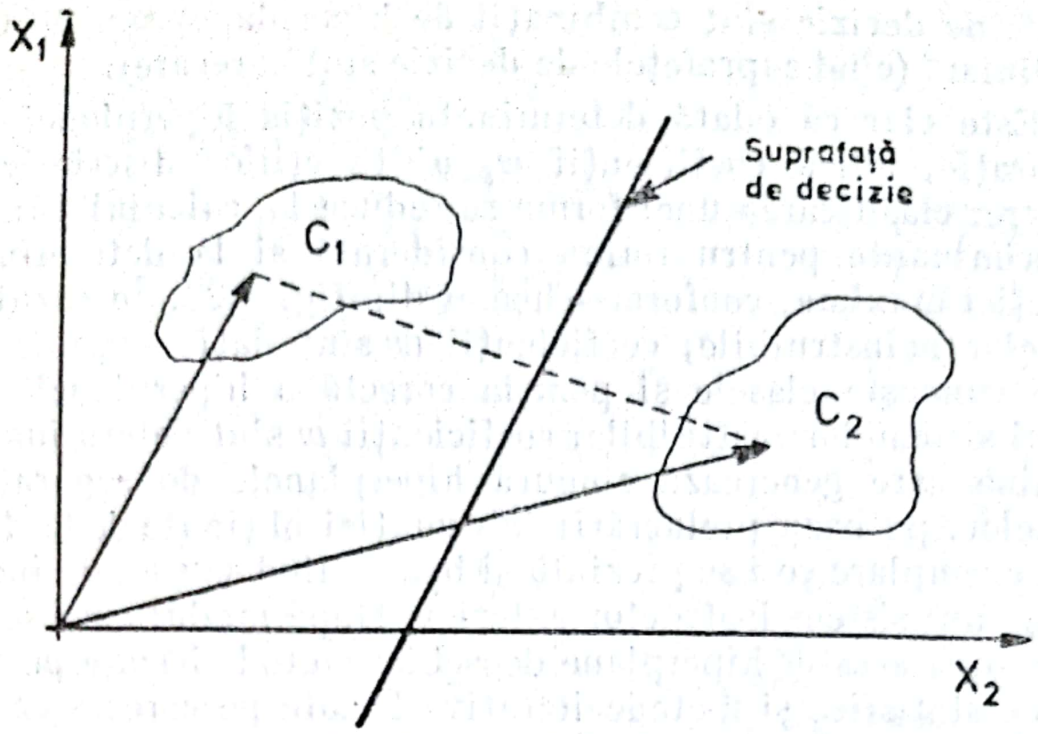


Fig. 4.26

fiecărei clase şi de a minimaliza numărul de nepotriviri rezultate (sau a maximaliza numărul de potriviri).

Metode bazate pe teoria deciziei[1] (căutarea probabilităţii maxime de apartenenţă la o clasă). În cazul în care formele în fiecare din cele R categorii sînt variabile aleatoare, caracterizate prin R funcţii de probabilitate distincte, se poate, în anumite condiţii, să se exprime funcţiile discriminante în funcţie de aceste probabilistice (necunoscute):

— $p(X/i)$ probabilitatea ca forma X să aparţină clasei i;

— $p(i)$ probabilitatea apriorică a clasei i.

Recunoaşterea formei implică următoarele etape:

1) evaluarea parametrilor $p(X/i)$ şi $p(i)$ pe baza eşantioanelor prezentate în perioada de instruire;

2) exprimarea funcţiei discriminante în funcţie de $p(X/i)$ şi $p(i)$ şi calcularea ei.

În anumite condiţii restrictive (distribuţii normale de probabilitate, independenţă statistică a parametrilor x_1, x_2 ... x_n ai formei) funcţia discriminantă e liniară şi are o expresie simplă. Ea se obţine prin introducerea unei funcţii

---

[1] I. Abramson, *Pattern Recognition and Machine Learning* (P I E E E oct. 1963).

Scanned with OKEN Scanner

de pierdere $\lambda(i/j)$, care reprezintă pierderea ce are loc prin plasarea formei în clasa i, ea aparţinînd clasei j; se calculează apoi o pierdere medie condiţionată $L_x(i)$ prin trecerea formei X prin toate categoriile posibile:

$$L_x(i) = \sum_{j=1}^{R} \lambda(i/j)\, p(j/X).$$

Utilizînd formula lui Bayes, înlocuim pe $p(j/X)$ cu:

$$p(j/X) = \frac{p(X/j)\, p(j)}{p(X)}$$

şi obţinem, pentru pierderea medie condiţionată, expresia:

$$L_x(i) = \frac{1}{p(X)} \sum_{j=1}^{R} \lambda(i/j)\, p(X/j)\, p(j).$$

Metoda de recunoaştere constă în a găsi clasa i pentru care funcţia de pierdere $L_x(i)$ are valoarea minimă.

În cazul particular în care funcţia de pierdere poate lua numai două valori:

$$\lambda(i/j) = \begin{cases} 0; & \text{dacă } i = j \\ 1; & \text{dacă } i \neq j, \end{cases}$$

pierderea medie condiţionată are expresia:

$$L_x(i) = \frac{p(X) - p(X/i) \cdot p(i)}{p(X)}$$

iar funcţia discriminantă rezultă simplu:

$$g_i(X) = p(X/i)p(i), \qquad i = 1, 2, \ldots R.$$

În acest caz minimalizarea funcţiei de pierdere medii $L_x(i)$ revine la maximalizarea lui $p(X/i)$.

De aceea metoda se mai numeşte şi de „probabilitate maximă“ (căutăm clasa cea mai probabilă care poate produce forma X dată) iar maşinile respective se numesc „maşini optimale“ (minimalizează pierderile) sau „maşini Bayes“.

Metode iterative. Spre deosebire de metodele statistice aici nu se face nici o ipoteză asupra distribuţiei eşantioanelor şi nu se caută deducerea eşantionului mediu în perioada de instruire. Se pleacă de la o aproximaţie grosolană (sau chiar întîmplătoare) a vectorului de pondere care determină po-

Scanned with OKEN Scanner

ziția hiperplanelor de separație a claselor și se ajustează progresiv poziția lor, verificînd la fiecare obiect prezentat, corectitudinea clasificării.

Această metodă își are originea în teoriile asupra funcționării sistemului nervos, în care neuronul este privit ca un element cu prag iar memoria ca o schimbare în joncțiunile sinaptice dintre neuroni. Dintre diferitele realizări bazate pe acest principiu cel mai cunoscut este perceptronul[1].

Metoda funcțiilor potențiale și a aproximațiilor stocastice[2]. Se pune problema găsirii unei funcții în spațiul S^n al formelor care să separe clasele. Aceasta se numește „funcție potențială" și are proprietatea că poate fi dezvoltată într-un sistem de funcții ortonormate $\Phi i(\bar{x})$:

$$\Psi(\bar{x}) = \sum_{i=1}^{m} w_i \Phi_i(\bar{x}).$$

Ipoteza de bază a metodei constă în existența sistemului ortonormat $\Phi_i(\bar{x})$ care dezvoltă funcția de separație printr-un număr mic de termeni. Cu alte cuvinte, funcția $\Psi(\bar{x})$ este „bine dezvoltabilă" după $\Phi_i(x)$ adică are un spectru destul de îngust.

Spațiul n-dimensional al formei X se transformă apoi în spațiul m-dimensional Z ale cărui coordonate se obțin pe baza relației:

$$z_i = \Phi_i(\bar{x}).$$

În spațiul liniarizat $Z(z_1, z_2, \ldots z_n)$, suprafața de separare $(\bar{x}) = 0$ devine hiperplanul $\sum_{i=1}^{m} w_i z_i = 0$.

În cazul claselor liniar separabile, metoda funcțiilor potențiale este de tip iterativ și constă în a face să varieze incremental poziția hiperplanului sau funcția potențială corespunzătoare la fiecare prezentare a unei forme pînă la obținerea unei clasificări corecte. În cazul a două clase liniar separabile aceasta revine la:

$$\Phi(\bar{x}) > 0 \text{ pentru orice } x \in C_1$$

$$\Phi(\bar{x}) < 0 \text{ pentru orice } x \in C_2.$$

---

[1] F. Rosenblatt, *Principles of Neurodynamics*, Spartan Books, New York, 1961.

[2] E. M. Braverman, *Potential function method in the problem of machine learning without a teacher*, în „Automatika i Telemekanika", nr. 6/1966.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul în care clasele C_1 și C_2 nu mai sînt liniar separabile (se intersectează), metoda funcțiilor potențiale capătă o formulare statistică, algoritmul devenind o combinație de algoritm statistic și iterativ. Instructorul nu mai poate comunica cu precizie mașinii la fiecare formă prezentată clasa de apartenență, ci doar probabilitatea sa de apartenență la acea clasă. În cazul a două clase, avem probabilitățile:

$P_{c_1}(\bar{x})$ — probabilitatea ca x să aparțină clasei C_1

și

$$P_{c_2}(\bar{x}) = 1 - P_{c_1}(\bar{x}).$$

Asupra acestor funcții numite „grad de veridicitate" se face din nou ipoteza că sînt bine dezvoltabile după un sistem de funcții ortonormate:

$$P_c(\bar{x}) = \sum_{i=1}^{m} w_i \Phi_i(\bar{x}).$$

Se determină funcțiile de veridicitate prin metoda funcțiilor potențiale astfel încît în final se obține funcția

$$f(\bar{x}) = P_{c_1}(\bar{x}) - P_{c_2}(\bar{x}),$$

care este pozitivă în toate regiunile în care predomină formele aparținînd clasei C_1 și negativă în toate regiunile în care predomină formele aparținînd clasei C_2.

4.6.4. *Simularea pe calculator*

Pornind de la datele neurofiziologice asupra prelucrării informației în cortex, s-au încercat diverse tipuri de modelări a funcției de recunoaștere cu ajutorul calculatorului[1].

În exemplul de mai jos s-a considerat[2] *un element de calcul de bază* (*ECB*) reprezentat în fig. 4.27 care modelează o suprafață de cca 0,5 mm de țesut cortical (350 neuroni). Ieșirea și intrarea acestui bloc reprezintă (cifric) mediile frecvențelor de detonare ale neuronilor respectivi.

Funcționarea *ECB*-ului este definită de următoarele relații:

$$Q(t) = F[P(t), SF(t), SS(t)],$$

---

[1] L. Uhr, *Pattern recognition, learning and thought. Computer programmed models of higher mental processes*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.

[2] M. Kabrisky, *A Proposed Model for Visual Information Processing in the Human Brain*, University of Illinois Press, 1966.

Scanned with OKEN Scanner

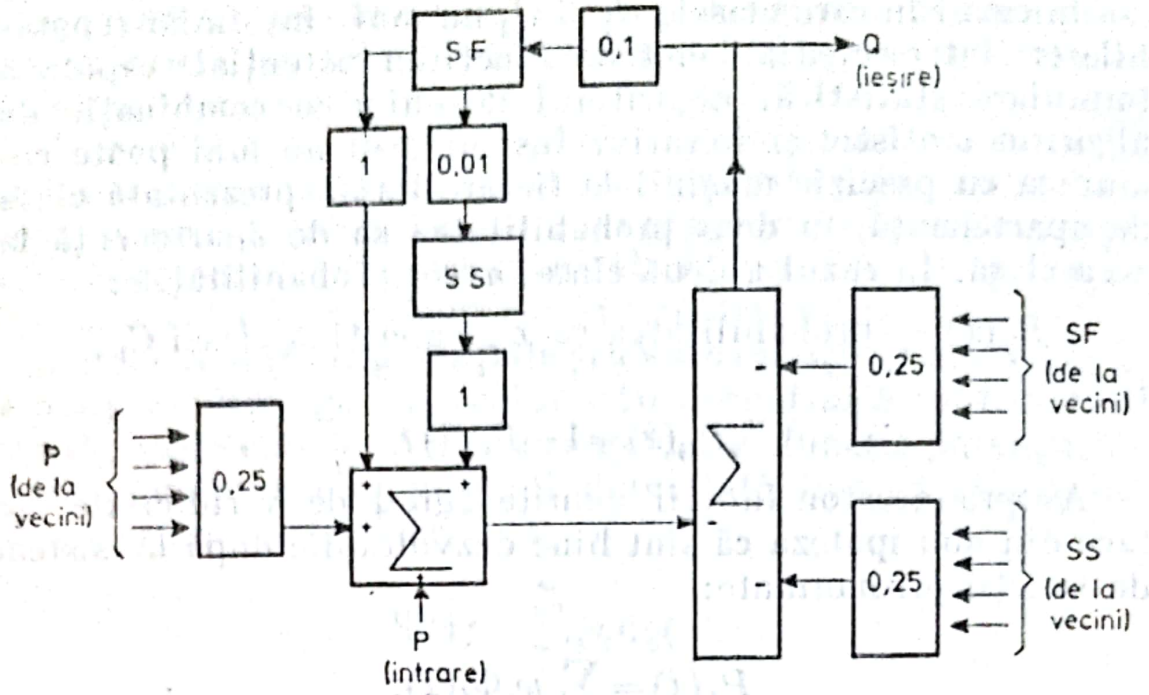


Fig. 4.27

în care $Q(t)$ este ieşirea ECB-ului la un moment t, P este intrarea sa, SF reprezintă memoria de scurtă durată, SS memoria de lungă durată, iar F este o funcţie ce leagă ieşirea de intrare şi de memorie.

La rîndul lor, memoriile sînt definite de funcţiile:

$$SS(t)=H[SF(t),\ SF(t-1),\ SF(t-2)\ldots],$$

adică memoria de lungă durată este o funcţie H de valorile precedente ale memoriei de scurtă durată. De asemenea $SF(t)=$ $=G[SF(t),\ SF(t-1)\ldots SS(t),\ SS(t-1)\ldots P(t),\ P(t-1)\ldots]$ adică memoria de scurtă durată este o funcţie G de valorile precedente ale intrării şi ale celor două memorii, deci a întregului trecut al elementului ECB. În modelul propus, funcţiile F, G şi H sînt sume ponderate.

Se poate forma o interconexiune de elemente de tip ECB, fiecare primind informaţii de la *vecinii* săi, informaţii ponderate cu ajutorul unor *coeficienţi de cuplaj* (în figura 4.27 aceştia au valoarea 0,25).

Pe baza algoritmului de recunoaştere programat, o reţea de 10×10 elemente ECB a fost *învăţată* să recunoască un *pattern* prezentat la intrările sale, adică să-şi formeze în memorie caracteristicile unei clase.

Limitările sistemului au provenit din cauza posibilităţilor de calcul limitate ale maşinii care n-au permis depăşirea unei reţele de 10×10 elemente.

Scanned with OKEN Scanner

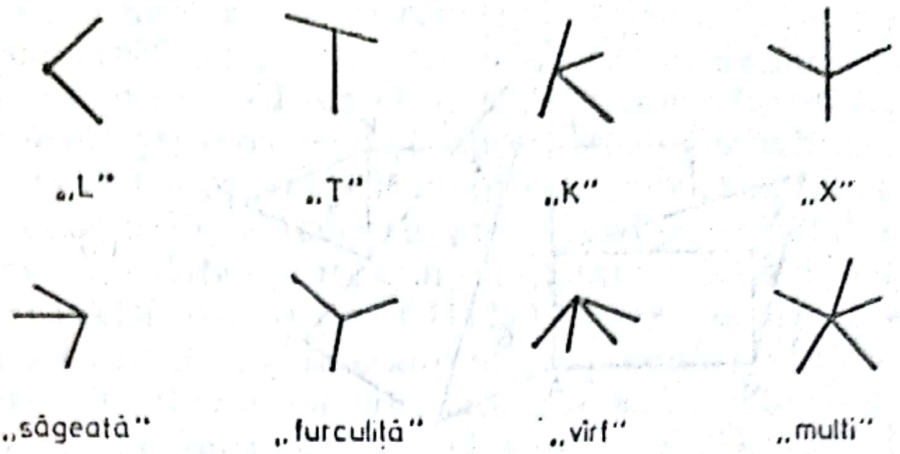


Fig. 4.28

Un alt mod de simulare pe calculator a funcției de recunoaștere se bazează pe analiza figurii și recunoașterea mai întîi a elementelor simple din care este constituită[1]. Algoritmul programat este destinat analizării unor obiecte (tridimensionale) geometrice, formate din plane, vîrfuri, muchii, cărora li se atașează cîte o etichetă (număr sau literă).

În fig. 4.28 se reprezintă cele opt tipuri de vîrfuri pe care le poate recunoaște programul. Se formează apoi în calculator trei liste cuprinzînd informații (codificate cifric) asupra regiunilor învecinate, vîrfurilor aferente etc. Aceasta constituie *reprezentarea internă* a scenei pe care mașina trebuie s-o clasifice după o explorare prealabilă. Se pun în evidență două tipuri de legături: *trainice* (zonele învecinate sînt asociate în cadrul aceluiași obiect și formează vîrfuri) și *slabe* (au o probabilitate redusă de asociere).

În fig. 4.29 se dă ca exemplu o *scenă* formată din 9 regiuni și 15 vîrfuri. În etape succesive (fig. 4.29 *b*, *c*, *d*) programul duce la combinarea regiunilor, astfel încît, în final (fig. 4.29, *e*) se obține identificarea scenei, ca fiind formată din trei obiecte, avînd regiunile 2—3—4, 6—7 și 5—8—9.

Performanțele acestui program au fost folosite ulterior în cadrul unui program mai complex intitulat: „Învățarea descrierii structurilor din exemple"[2]. Acest program pleacă de la descrierea obiectelor componente ale unei *scene*, obținută cu programul precedent și stabilește apoi relații între aceste

---

[1] A. Gruzman, *Decomposition of a Visual Scene into three Dimensional Bodies*, în A. Grasselli (ed.), *Automatic Interpretation and classification of Images*, Academic Press, New York, 1969.

[2] P. Winston (ed.), *The Psychology of Computer Vision*, Mc Graw Hill, 1975.

Scanned with OKEN Scanner

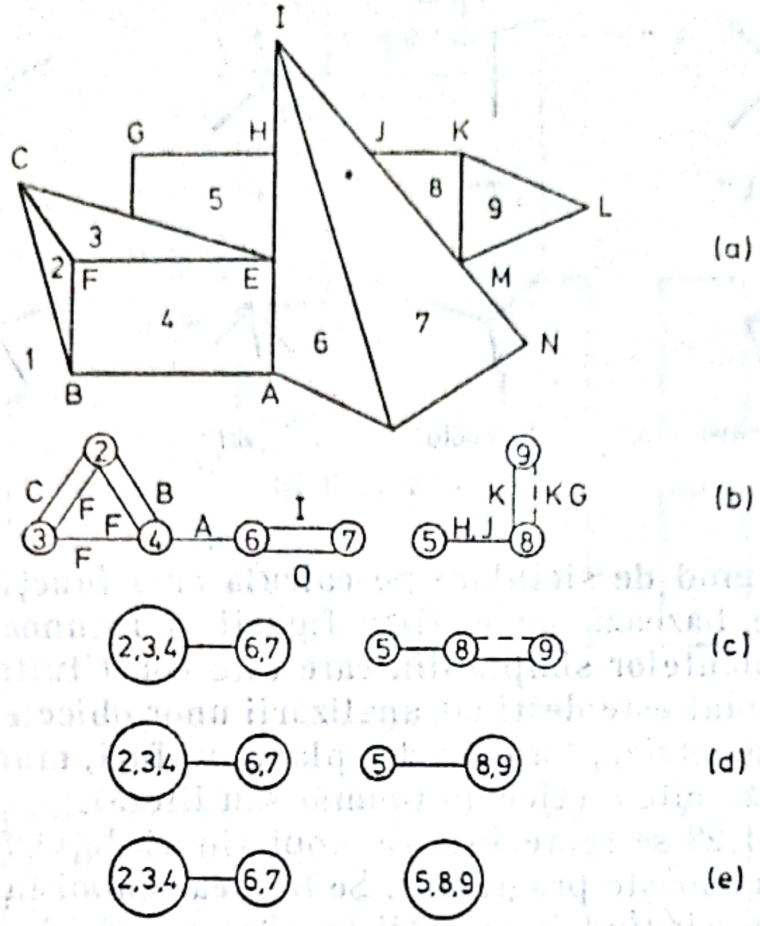


Fig. 4.29

obiecte, de tipul: „are proprietatea de", „o parte este", „un tip de", „în față", „la dreapta" și „sprijină". Scena este reprezentată ca un *graf descriptiv* în care nodurile reprezintă obiecte iar conexiunile, relații între obiecte.

Sistemul învață să descrie o scenă pe baza unor exemple pozitive și negative prezentate de un instructor extern. Avantajul programului constă în învățarea eficientă și rapidă; limitarea constă în aplicabilitatea sa numai la configurații de blocuri geometrice.

Desigur, considerînd varietatea de forme ale universului înconjurător, pe care ochiul învață să le recunoască, aceste încercări tehnice au performanțe foarte reduse. Totuși, așa cum menționam la începutul acestui paragraf, primele aplicații au și început să apară. Într-adevăr, roboții din generația a doua[1] sînt echipați cu sensori tactili și vizuali care le permit *identificarea* obiectelor în scopul manipulării lor. Vederea

[1] E. Cutler, *Le dossier des robots industriels*, în Automatique et informatique industrielle, mai 1977.

artificială a unor astfel de roboţi, le permite, la ora actuală, să „recunoască" un şurub într-un ansamblu de piese dezordonate, în scopul de a-l lua şi de a-l introduce într-un orificiu.

Problema recunoaşterii şi reprezentării simbolice a mediului înconjurător pentru a-l modifica a dus la necesitatea elaborării unor limbaje adecvate prelucrării pe calculator a acestor tipuri de date. Un exemplu în acest sens îl constituie limbajul PADL (bazat pe FORTRAN) care permite descrierea geometriei pieselor, a toleranţelor, a gradului de finisare etc.

Comanda prin voce a calculatorului sau a roboţilor este tot o problemă de recunoaştere, şi anume, a vorbirii. În acest caz, pentru probleme restrînse, datele se pot introduce în calculator prin viu grai în loc de cartele perforate sau benzi magnetice. Azi există maşini care recunosc cîteva zeci de cuvinte vorbite şi sînt în elaborare, pentru viitorul apropiat, maşini care vor recunoaşte cîteva sute de cuvinte. Recunoaşterea cuvintelor vorbite este un prim pas spre rezolvarea problemei — mult mai dificile — a înţelegerii frazelor vorbite[1].

4.7. Învăţarea rezolvării problemelor

Prin această denumire generală se înţelege orice activitate teoretică sau practică pe care un organism sau o maşină trebuie să o efectueze pentru a îndeplini un scop, atunci cînd drumul care duce spre scop nu îi este în întregime cunoscut. Sistemul are în acest caz de rezolvat problema găsirii drumului, adică a succesiunii de acţiuni pe care îl apropie de scop şi în a doua etapă, găsirea drumului celui mai scurt adică optimalizarea rezolvării. Prin urmare avem de-a face cu un proces de *căutare* în cadrul căruia, prin încercări şi erori, se selectează drumul optim.

Sistemul poate conduce acest proces de căutare cu ajutorul unor reguli programate care îi definesc — şi limitează — posibilităţile de explorare; alteori sistemul poate folosi informaţia achiziţionată pentru a îmbunătăţi însăşi algoritmul de explorare, ceea ce îi conferă caracterul de sistem instruibil.

Sistemele biologice rezolvă problemele îmbunătăţindu-şi în permanenţă algoritmele; sînt sisteme instruibile prin

---

[1] M. Drăgănescu, *Structuri şi inteligenţă artificială*, în Ed. Politică. Bucureşti, 1978, p. 198.

Scanned with OKEN Scanner

excelență. Sistemele tehnice care rezolvă probleme pot fi de două feluri: instruibile, sau nu. Există două linii pe care se merge în acest domeniu al inteligenței artificiale: pe de o parte înzestrarea mașinilor cu programe complexe, euristice, pentru a putea face față unor probleme cît mai complicate iar pe de altă parte, înzestrarea lor cu o programare minimă dar cu posibilități de instruire, astfel încît să poată prelucra informația acumulată pe parcurs. Menționăm că prima din aceste două linii de cercetare a luat, în ultimul timp, o extindere mai mare.

Rezolvarea problemelor este o activitate conceptuală care are obîrșia în activitatea practică, de zi cu zi, a omului primitiv.

Chiar și animalele rezolvă *probleme.* În psihologia experimentală a animalelor este binecunoscută, de exemplu, problema „maimuței și a bananei" de care s-a mai vorbit: într-o cameră se află o maimuță și niște lăzi iar de tavan atîrnă o legătură de banane. Se urmărește prin ce etape și cît de repede va rezolva maimuța problema ajungerii la banane.

Problemele concrete și variate cu care omul primitiv a fost confruntat pentru a supraviețui i-au antrenat și dezvoltat capacitatea de prelucrare a informației. După multe milenii această capacitate, depășind cu mult necesitățile vitale, a căutat noi domenii de activitate. Problemele de rezolvat au căpătat un caracter mai abstract, au apărut matematicile și alte sisteme formale în care realitatea nu mai apare nemijlocit. „Abstracțiile matematice — de la cele elementare, numerele și figurile, pînă la cele mai complexe, nu sînt ficțiuni, nu sînt creații arbitrare ale intelectului. Ele reflectă, deși într-o formă schematizată, purificată, idealizată și adeseori foarte complicată, aspecte ale realității obiective. Caracterul lor idealist este, în fond, o condiție a generalității lor, a capacității lor de a reflecta realitatea mai profund, mai exact, mai complet"[1].

Creații ale minții omenești, aceste sisteme formale au o dezvoltare și o problematică proprie în care elaborarea unei probleme și rezolvarea ei au căpătat un scop în sine. Însuși mecanismul rezolvării a devenit obiect de studiu, a fost modelat pe calculatoare. S-a elaborat astfel un model formal al *rezolvării problemelor*, indiferent de problema particulară în

---

[1] E. Fischbein, *Conceptele figurale*, Ed. Academiei R.S.R., București, 1963.

Scanned with OKEN Scanner

care se poate exersa și care, la rîndul ei, poate avea un caracter abstract (demonstrarea de teoreme, strategia jocurilor etc.).

4.7.1. *Psihologia rezolvării*

Una dintre cele mai vechi mărturii a preocupării omului de a descifra mecanismele mintale o constituie poate, cartea matematicianului grec Pappus (300 î.e.n.) numită *Collectiones* în care se ocupă de modul de rezolvare a problemelor prin metode *euristice*. Autorul arată că există două tipuri de probleme: probleme *de demonstrat*, în care se evidențiază, în mod riguros, un adevăr și probleme de aflat, în care se urmărește găsirea unei necunoscute; el arată cum se pot folosi operațiile de analiză și sinteză în fiecare caz.

Euristica studiază metodele sau regulile care duc la rezolvarea problemelor, la descoperire, la invenție. Ea nu prescrie programe exhaustive, care, urmate orbește, să ducă de la enunțul unei probleme la rezolvarea ei, ci lasă loc inspirației proprii în căutarea soluției în fiecare caz particular, furnizînd indicații generale de reușită deduse din observarea rezolvării a diverse tipuri de probleme.

La prima vedere pare curios că într-un domeniu ca cel al inventivității pot exista *reguli;* aici activitatea mintală constă din asociații libere, bazate pe inspirație și nu pe program. Desigur, într-o mare măsură așa și este; de aceea nu se pot da reguli precise. Dar, activitatea creatoare este limitată în anumite zone, este îngrădită de anumite norme, fără de care ea ar deveni haotică. Iată ce scrie în această privință matematicianul și filozoful francez René Descartes[1]: „Ca tînăr, cînd auzeam vorbindu-se despre invenții ingenioase, încercam să le inventez eu însumi, chiar fără să-l citesc pe autor. Procedînd astfel, mi-am dat seama treptat că făceam uz de anumite reguli". Aceste reguli se deduc, se învață din experiența proprie, din observarea modului de rezolvare a problemelor de către alții. Astfel de reguli se caută a se desprinde din activitatea tumultuoasă și aparent dezordonată a minții care caută o soluție sau o demonstrație: „În intelectul cercetătorului există o lumină difuză, egal împărțită peste tot. Și există

[1] René Descartes, *Discours de la méthode*, 1637.

Scanned with OKEN Scanner

o serie de mişcări repezi, febrile, de la o cunoştinţă la alta sau, mai curînd, tendinţa de mişcare, de îmbinare. La un moment dat atenţia, egal distribuită, surprinde puncte între care se pot stabili legături, apare ca o scînteie, o *inspiraţie* care schimbă brusc, calitativ, conţinutul şi structura gîndirii. Aşa trebuie să fie — îşi spune; selecţia este făcută; anumite cunoştinţe s-au aprins, celelalte şi încercările legate de ele au intrat brusc în umbră; demonstraţia este *intuită*. Rămîne ca ea să fie *materializată*, construită în detaliu. Ceea ce este problemă de meşteşug — adică de aplicare atentă, conştiincioasă, a unor metode ştiute, lipsite de problematic. Partea dramatică, de nelinişte, de nesiguranţă, de căutare, partea preţioasă a cercetării s-a terminat"[1].

Studii psihologice[2] au scos în evidenţă etapele principale în rezolvarea unei probleme. În primul rînd, subiectul îşi formează o *reprezentare internă* a structurii problemei, a condiţiilor de care trebuie să se ţină seama şi a obiectivelor de atins. Urmează *alegerea* unei metode de rezolvare, care poate duce printr-o serie de paşi succesivi la rezolvare, sau dimpotrivă, poate eşua. Mai există şi posibilitatea ca metoda aleasă să genereze subprobleme ale problemei principale, care trebuie rezolvate independent. După aplicarea metodei alese are loc o verificare a succesiunii operaţiilor şi a rezultatelor obţinute pentru a detecta eventualele erori. În cazul în care verificarea nu este mulţumitoare se alege o altă metodă sau se modifică însăşi reprezentarea iniţială a problemei.

Matematicianul G. Polya distinge patru faze ale acestei activităţi: faza de *înţelegere* a problemei, aceea de *întocmire* a unui plan, aceea de *realizare* a planului şi în sfîrşit privirea *retrospectivă*[3].

În faza de înţelegere ne familiarizăm cu enunţul, punînd în evidenţă părţile principale ale problemei: necunoscuta, datele, condiţia. Pentru a întocmi un plan trebuie să vedem cum sînt legate între ele diversele elemente, care este relaţia dintre necunoscută şi datele problemei. Se încearcă idei care au fost de folos în situaţii similare din trecut. Se cercetează diverse idei, urmărind, în mare, unde conduc.

---

[1] Eugen Rusu, *Psihologia activităţii matematice*, Ed. ştiinţifică, Bucureşti, 1969.

[2] M. Golu, *Principii de psihologie cibernetică*, Ed. ştiinţifică şi enciclopedică, Bucureşti, 1975.

[3] G. Polya, *Cum rezolvăm o problemă?*, Ed. ştiinţifică, Bucureşti, 1965.

Scanned with OKEN Scanner

Realizarea planului constă în aplicarea detaliată a ideii directoare, efectuînd calcule cît mai corecte şi verificîndu-le neîncetat.

Privirea retrospectivă serveşte la reconsiderarea problemei, în lumina rezultatului; prin aceasta se poate întrezări o altă cale de rezolvare mai scurtă, mai intuitivă şi, în orice caz, se sintetizează drumul parcurs spre a putea fi folosit în probleme similare.

Într-o analiză mai amănunţită a activităţii cerebrale în timpul rezolvării unei probleme, acelaşi autor[1] scoate în evidenţă faptul că rezolvitorul problemei începe prin a-şi delimita un *domeniu de căutare* în care să urmărească soluţiile plauzibile. Lucrul acesta este important căci focalizează atenţia cercetătorului asupra unui număr mai restrîns de noţiuni pe care le încearcă în mod selectiv. Pe parcursul rezolvării, domeniul de căutare poate fi restrîns, lărgit, sau schimbat, în funcţie de mersul raţionamentului dar, în orice caz, existenţa sa este necesară în orientarea căutării.

Pe măsură ce rezolvarea înaintează, rezolvitorul extrage din memorie materialele care i se par utile în găsirea soluţiei. Este un proces de *mobilizare* a informaţiei relevante, bazat pe *recunoaşterea* unor anumite elemente ale problemei, cu care aceasta poate avea contingenţe.

Urmează *organizarea* informaţiei mobilizate adică corelarea ei cu datele problemei. Prin aceasta se schimbă structura viziunii pe care rezolvitorul o are asupra problemei căci se adaugă o serie de elemente suplimentare sau se *regrupează* elementele existente.

Examinarea problemei se efectuează prin două procese complementare care au loc succesiv şi anume: *analiza detaliilor* şi *viziunea de ansamblu*. Detaliile se analizează *izolîndu-le* din contextul problemei şi evaluîndu-le separat pentru ca apoi prin *recombinarea* lor să se obţină o nouă viziune asupra problemei.

Din cele de mai sus se observă cît de dificilă este descifrarea propriilor noastre mecanisme cerebrale. Se naşte atunci întrebarea firească dacă realizarea unor programe care să rezolve probleme trebuie să urmeze aceleaşi algoritme, sau dimpotrivă, să găsească căi specifice.

---

[1] G. Polya, *Descoperirea în matematică*, Ed. ştiinţifică, Bucureşti, 1971.

Scanned with OKEN Scanner

4.7.2. *Modele matematice și tehnice*

Rezolvarea automată a problemelor, cu ajutorul calculatorului, presupune, în mare, găsirea unui formalism logic în care să se poată exprima o varietate cît mai mare de probleme particulare și găsirea unei metodologii de căutare a soluției, cît mai eficiente[1].

Formalismul logic în care s-au efectuat majoritatea cercetărilor de inteligență artificială este cel al calculului propozițional și mai recent, cel al calculului predicativ[2].

Calculul propozițional sau logica propozițiilor folosește ca elemente de bază propoziții, acestea putînd fi *adevărate* (A) sau *false* (F). Prin combinarea lor cu ajutorul operațiilor logice se pot obține propoziții complexe care, de asemenea, pot avea două valori: adevărat sau fals.

În tab. 4.1 se reprezintă transformarea a două propoziții elementare (notate p și q) prin aplicarea celor trei operatori logici: conjuncția ($p \cdot q$), disjuncția ($p \vee q$) și implicația ($p \rightarrow q$).

Tabelul 4.1

pq	$p \cdot q$	$p \vee q$	$p \rightarrow q$
$A\ A$	A	A	A
$A\ F$	F	A	F
$F\ A$	F	A	A
$F\ F$	F	F	A

Putem verifica în mod intuitiv tabelul de mai sus, înlocuind pe p și q cu două propoziții simple și combinîndu-le logic conform unuia din operatorii indicați. Fie astfel p = mă prezint la examen; q = cunosc materia; $p \cdot q$ = iau examenul. Este evident că propoziția rezultantă este adevărată numai dacă ambele componente sînt adevărate.

Cei trei operatori de mai sus împreună cu operatorul *negație* (care transformă o propoziție în inversul ei logic) formează un set *complet* în sensul că orice propoziție, oricît de complicată, poate fi formată numai cu acești operatori.

Deducțiile logice din cadrul *calculului propozițiilor* se fac pe baza unui aparat deductiv formal, format din *axiome* și

---

[1] B. Chandrasekaran, *Artificial Intelligence-The past decade in Advances in Computers*, vol. 13, Academic Press, New York, 1975.

[2] Nils J. Nilsson, *Problem Solving Methods in Artificial Intelligence*, Mc Graw Hill, New York, 1971.

Scanned with OKEN Scanner

reguli de inferență. Axiomele sînt formule simple, evidente, care se acceptă fără demonstrație. În calculul propozițiilor există cinci axiome care formează un set *complet* (suficient pentru a demonstra orice formulă din sistem), *consistent* (pe baza lor nu se obțin rezultate contradictorii) și *minimal* (nici una dintre ele nu poate fi demonstrată cu ajutorul celorlalte). Regulile de inferență sînt în număr de trei. Cu ajutorul acestui aparat formal s-au putut demonstra un mare număr de teoreme.

Calculul predicatelor este o extensie a calculului propozițiilor în sensul că păstrează aceiași operatori logici dar adaugă la elementele-propoziții p, q, r, ale calculului propozițional, *constantele individuale* (a, b, c...) și *variabilele individuale* (z, y, x...) într-un domeniu D. Se mai definesc *funcțiile* (f, g, h...) de una sau mai multe variabile și constante care realizează o aplicație a obiectelor sau grupurilor de obiecte din D în alte obiecte din D.

Variabilele, constantele și funcțiile sînt descrise sau legate între ele cu ajutorul *predicatelor* notate P, Q, R, ... Astfel, $P(a)$ reprezintă o proprietate a unui individ a din mulțimea D (de exemplu, a este sportiv). O propoziție simplă realizată cu ajutorul predicatelor se numește o *formulă atomică*.

În calculul predicatelor există doi *cuantificatori* și anume: cuantificatorul *universal* notat $(\forall x)$ și citit „pentru orice x" (formula e valabilă pentru orice valoare a lui x din domeniul D) și cuantificatorul *existențial* notat $(\exists x)$ și citit „există un x" (formula e valabilă pentru cel puțin o valoare a lui x).

O regulă de inferență din calculul predicatelor indicată implementării pe calculator și larg utilizată pentru demonstrarea automată a teoremelor este principiul rezoluției[1].

În esență, pe baza acestui principiu, demonstrarea unei formule revine la a demonstra că ansamblul axiomelor (pe care se sprijină demonstrația) și negația formulei respective sînt incompatibile.

În afară de adoptarea unui sistem logic în care se fac raționamentele pe parcursul rezolvării unei probleme, mai sînt de luat în considerare două aspecte legate de automatizarea acestei operații: acela al *reprezentării* problemei și acela al metodei de *căutare* a soluției.

---

[1] J. A. Robinson, *A machine oriented logic based on the resolution principle*, în „Journal of the Association for Computing Machinery", 12, 1965, p. 23–41.

Scanned with OKEN Scanner

Descoperirea algoritmilor cerebrali și modelarea lor nu a constituit, se pare, cea mai bună cale de urmat. Aceasta se datorește diferențelor de structură și limbaj care există între creierul uman și cel artificial.

Din aceste motive, pe lîngă realizări importante pe linia modelării mecanismelor cerebrale (de ex. programele „The Logic Theorist" și „General Problem Solver"[1]) se observă în ultimul timp o tendință din ce în ce mai marcată de a găsi căi de rezolvare a problemelor, care să utilizeze euristici specifice calculatorului.

Reprezentarea unei probleme în *spațiul stărilor* revine la a descrie printr-un grup de date fiecare etapă în care se găsește problema pe parcursul rezolvării ei. Starea inițială este reprezentată de grupul de date de la care pleacă rezolvarea problemei iar *starea finală* corespunde soluției căutate. Între starea inițială și cea finală problema este reprezentată prin diverse stări intermediare, trecerea de la o stare la alta efectuîndu-se cu ajutorul *operatorilor*. Un operator poate fi considerat un calcul sau o regulă care transformă descrierea unei stări în descrierea altei stări.

Reprezentarea stărilor ca puncte (sau vectori) într-un spațiu multidimensional (ordinul spațiului depinzînd de numărul de parametri necesari pentru a descrie o stare) conduce la noțiunea de *spațiu al stărilor*. Rezolvarea unei probleme revine la a găsi drumul care conduce, în spațiul stărilor, de la starea inițială la starea finală. Dacă există mai multe asemenea drumuri se pune problema găsirii drumului celui mai scurt, adică a optimizării rezolvării problemei. Uneori optimizarea nu se referă la rapiditatea găsirii soluției (drumul cel mai scurt) ci la aspectul economic al operației de căutare; în acest caz, alocînd un *cost* trecerii de la o stare la alta, optimizarea constă în a găsi drumul cu costul minim.

Ca exemplu de problemă poate fi luat jocul foarte simplu (numit, la noi, Perspico) care constă în deplasarea unor plăcuțe numerotate, în interiorul unui pătrat, astfel încît să se obțină anumite configurații de cifre. Pentru a reprezenta în spațiul stărilor această problemă, vom considera ca *stare* o anumită configurație de cifre (care va primi ca etichetă un număr sau o literă). A rezolva problema înseamnă a găsi succesiunea de configurații care transformă configurația inițială în cea finală.

---

[1] A. Newell and H. Simon, *Human Problem Solving*, Prentice Hall, New York, 1972.

Scanned with OKEN Scanner

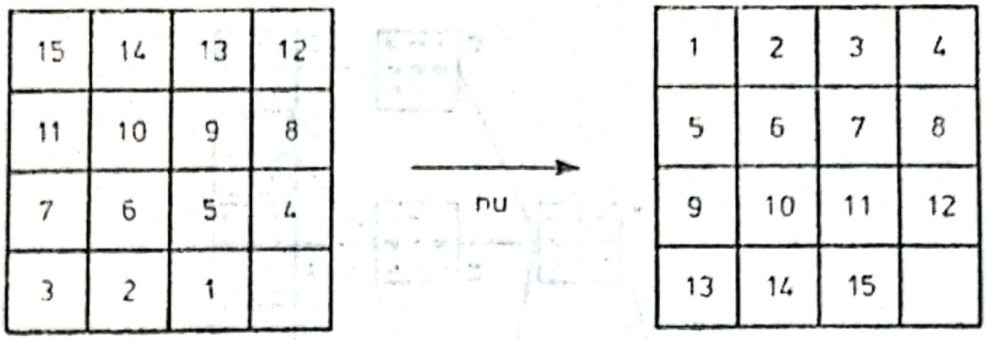


Fig. 4.30

Uneori această succesiune nu există, adică problema este nerezolvabilă. Astfel, se poate *demonstra*, cu ajutorul formalismului logic adoptat, că din starea *inițială* reprezentată în figura 4.30, *a* nu se poate trece în starea finală reprezentată în fig. 4.30, *b*.

Pentru problema (rezolvabilă) din figura 4.31, corespunzătoare unui pătrat 3×3, există două modalități de căutare a soluției care corespund celor două metode generale de căutare, în spațiul stărilor și anume: căutarea în *lărgime* și căutarea în *adîncime*.

Explicarea acestor metode se poate face mai bine cu ajutorul *grafurilor*. Nodurile grafului corespund stărilor iar legăturile între noduri, arcele, corespund operatorilor. Legătura dintre starea inițială și starea finală (rezolvarea problemei) poate fi reprezentată ca o succesiune de arce, în graful reprezentativ al spațiului stărilor. O formă simplă de graf este aceea de *arbore* în care toate nodurile descind dintr-un nod unic, numit rădăcină. Acesta este nodul inițial, de la care pleacă operațiile, și care corespunde stării inițiale.

În fig. 4.32 se reprezintă arborele generat de metoda *căutării în lărgime* în cazul problemei-joc ale cărei stări, inițială și finală, sînt reprezentate în fig. 4.31.

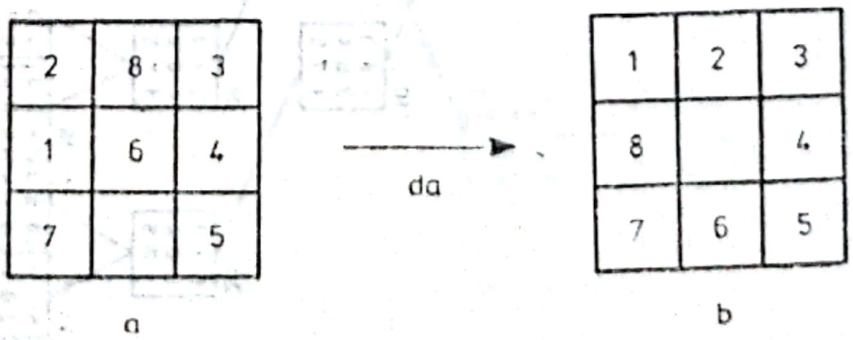


Fig. 4.31

Scanned with OKEN Scanner

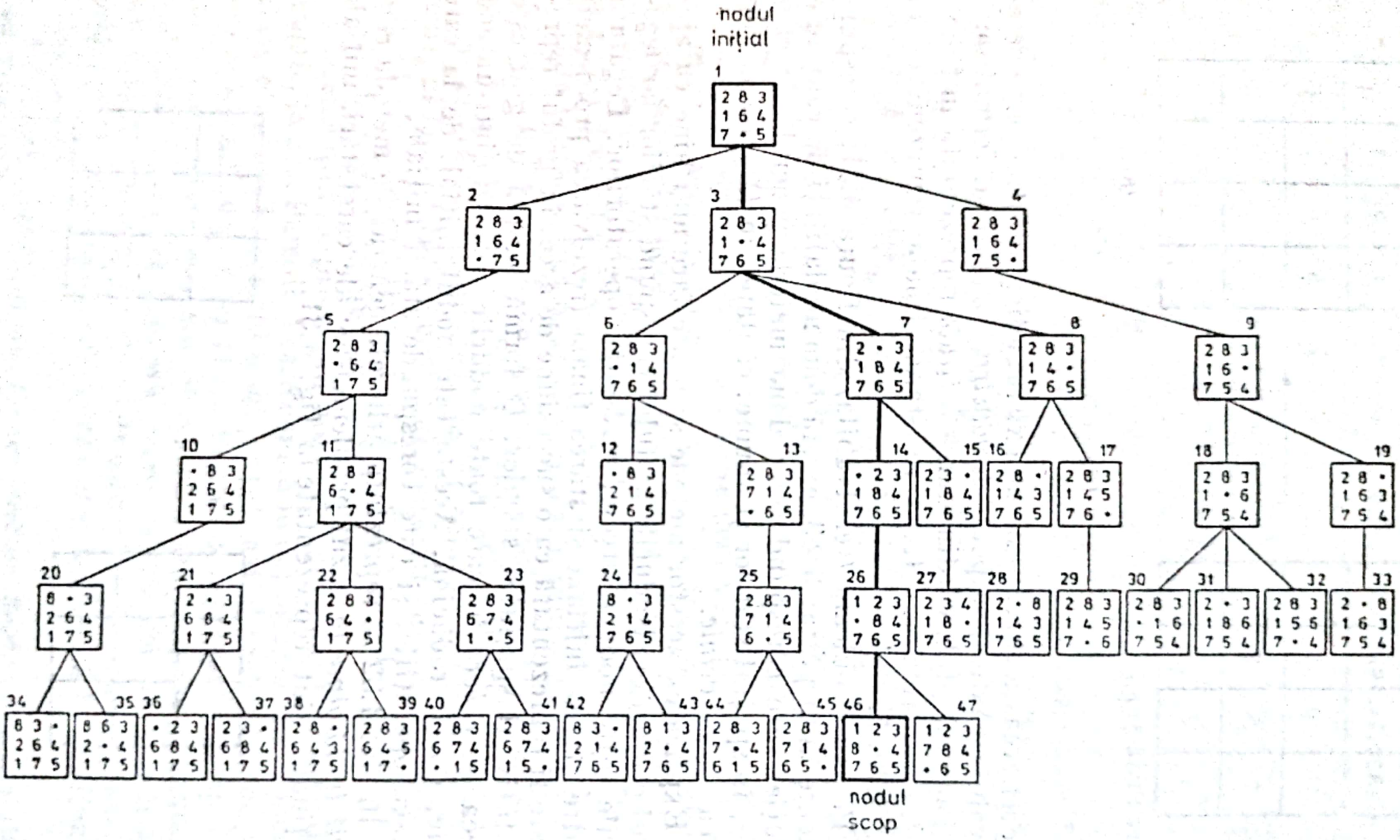


Fig. 4.32

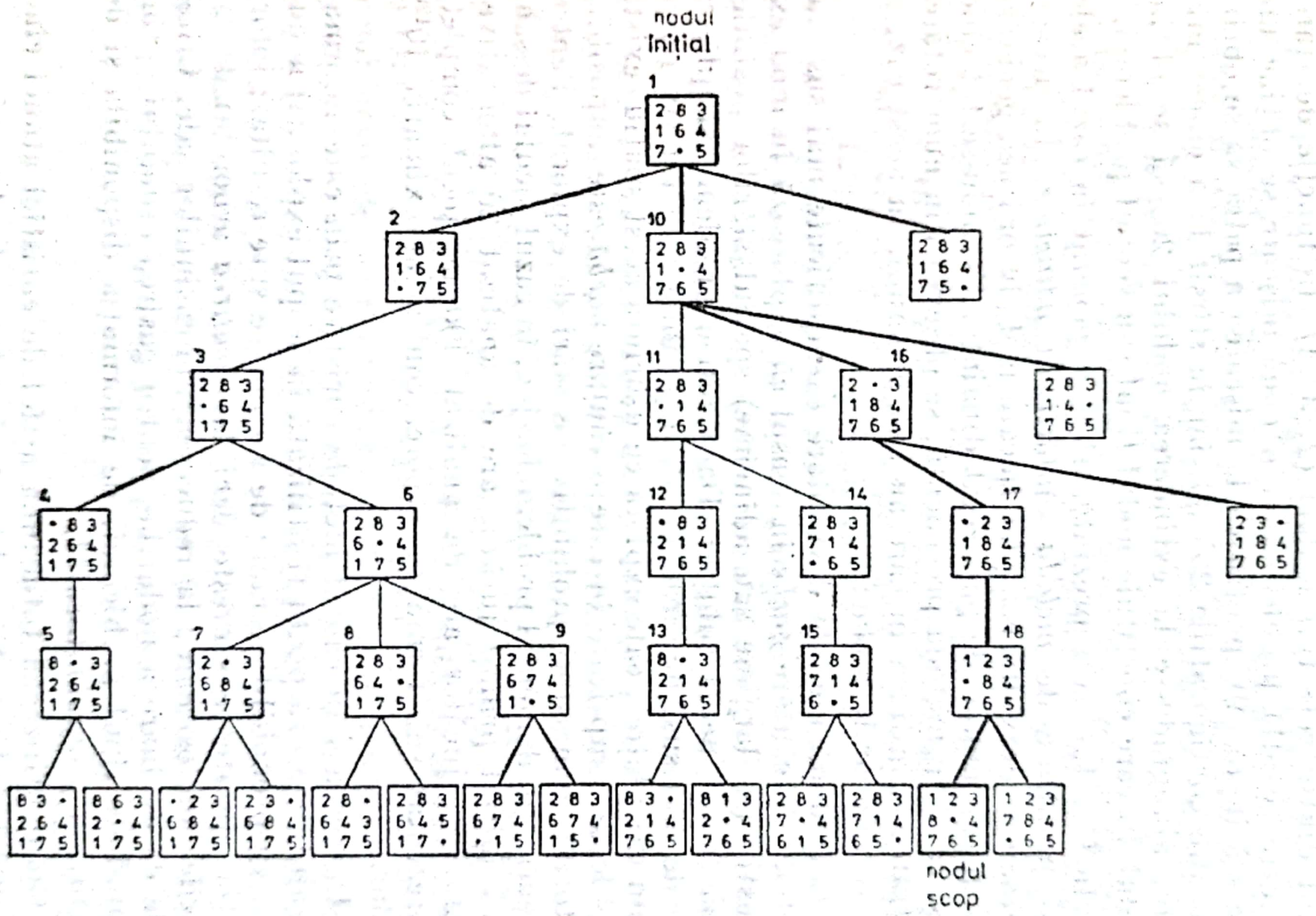


Fig. 4.33

Metoda căutării în lărgime constă în a dezvolta nodurile în ordinea în care sînt generate. Se observă deci, că plecînd de la nodul inițial (1) se pot general, după o primă mutare, unul dintre cele trei noduri (2, 3, 4). În funcție de starea în care se află problema, la o nouă mișcare se obține una din stările (5—9), pentru ca la mișcarea a patra să se obțină una din configurațiile 20—33, iar în sfîrșit la a cincea mișcare, ajungîndu-se la extinderea nodului 26, să se obțină nodul 46 care constituie nodul final sau scopul problemei.

În fig. 4.33 se reprezintă arborele generat în cazul aceleiași probleme de *metoda căutării în adîncime*. În această metodă se dezvoltă complet fiecare nod, în ordinea generării lui, pe un număr de pași fixat dinainte. Fixîndu-se tot cinci pași ca și în metoda precedentă, se observă din numerotarea pătratelor, ordinea în care au fost generate. În acest caz, se dezvoltă doar 18 noduri.

Cele două metode de căutare exemplificate mai sus sînt metode de căutare *oarbe* în sensul că explorează în mod exhaustiv (în lărgime sau adîncime) spațiul stărilor posibile, pînă la obținerea soluției. Dacă într-o problemă simplă ca cea de mai sus, numărul de stări posibile este relativ redus și un calculator poate explora cu ușurință acest spațiu, există probleme complicate în care o căutare *oarbă* este imposibilă datorită numărului prohibitiv de stări de explorat. Pentru a rămîne în domeniul problemelor-joc, în cazul jocului de șah, dacă inițial primul jucător are de analizat 20 alternative, următorul jucător are de analizat 400, iar jocul complet, reprezentat sub formă de arbore, conține aproximativ 10^{120} noduri.

De aceea s-au căutat metode euristice prin care informația ajutătoare să poată fi utilizată în scopul explorării nodurilor cu probabilitate mare de a conduce spre rezultat; informația ajutătoare servește deci la *curățirea* arborelui de ramurile nefolositoare, la reducerea dimensiunilor sale. Criteriile de evaluare a nodurilor pentru găsirea drumului optim depind de tipul problemei, de informația disponibilă și de inspirația programatorului.

Omul utilizează totdeauna astfel de euristici atunci cînd rezolvă probleme. Nici chiar în jocul simplu de mai sus el nu merge pe o explorare exhaustivă, care i se pare plictisitoare. Cu atît mai puțin în cazul jocului de șah sau a unor probleme matematice complexe; acestea cer intuiție sau arti-

Scanned with OKEN Scanner

ficii de calcul adică euristice. În toate cazurile, omul își îmbunătățește progresiv metoda de căutare, adică învață din experiență.

Introducerea unor strategii de instruire în cadrul metodelor de căutare a soluțiilor nu s-a dovedit pînă în prezent deosebit de eficace deoarece însăși tehnicile de căutare sînt în plină dezvoltare iar modul de reprezentare a problemelor nu este pus la punct riguros.

În esență, prin instruire — în acest domeniu — se urmărește ca mașina să-și îmbunătățească progresiv funcția de evaluare utilizată de programul de căutare. După cum s-a menționat, diferitele noduri ale unui graf în formă de arbore sînt evaluate din punctul de vedere al drumului optim spre *nodul-scop*. În felul acesta se evită testarea exhaustivă a tuturor nodurilor, alegîndu-se cu prioritate nodurile cu valori ridicate. Întrucît criteriul de optimalitate diferă de la problemă la problemă și întrucît informația pentru evaluarea nodurilor nu este completă, se recurge la euristici. Tocmai în aceasta constă arta programatorului, ca prin alegerea și combinarea judicioasă a caracteristicilor celor mai importante ale problemei să se obțină o evaluare cît mai corectă a nodurilor. Așa, spre exemplu, în cazul jocului de șah criteriile de evaluare a nodurilor pot fi: „securitatea maximă a reginei" sau „numărul minim de piese pierdute" etc.

În programul instruibil numit MULTIPLE (MULTIple Program that LEarns)[1] se prevăd mai multe caracteristici care, combinate sub forma unei sume ponderate să conducă la o funcție de evaluare. Instruirea constă în a încerca diverse combinații de caracteristici, variind atît numărul cît și ponderea lor, pentru a obține o evaluare cît mai corectă deci o rezolvare optimă, din punctul de vedere a criteriului dat. Ajustarea funcțiilor de evaluare se face progresiv, încercînd diverse variante și înregistrîndu-le în memorie pentru a le putea compara. MULTIPLE a rezolvat probleme în domeniul geometriei plane și teoriei grupurilor.

---

[1] J. Slagle, *Artificial Intelligence. The Heuristic Programming Approach* Mc Graw-Hill, New York, 1971.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 5

ROBOTICA

În ultimii ani asistăm la o creştere considerabilă a interesului pentru conceperea şi realizarea de automate de tip „robot", capabile să execute o serie de operaţiuni practice de mare complexitate. A apărut o nouă ştiinţă „robotica", avînd diverse ramuri ca „robotica industrială", „robotica medicală" etc., iar numeroase institute şi centre universitare din diferite ţări industrializate au programe de cercetare în această direcţie. Realizările prezentate la simpozioanele internaţionale ce au loc anual pe această temă, atestă progresele importante ce s-au făcut în direcţia adaptabilităţii şi versatilităţii acestor automate, a căror potenţial logic este în continuă creştere.

Evoluţia roboţilor a mers în sensul creşterii gradelor de libertate şi, implicit, a capacităţii de prelucrare a informaţiei[1]. De la roboţii din generaţia zero, cu automatizare sau program fix, s-a trecut la cei din generaţia I-a care posedă elemente rudimentare de feedback prin sensori şi pot fi utilizaţi în operaţii simple (deplasare de obiecte, sudură, vopsire etc.). Roboţii din generaţia a II-a sînt cuplaţi cu un calculator putînd efectua operaţii de identificare a obiectelor înconjurătoare cu ajutorul sensorilor optici şi tactili şi operaţii de mînuire, asamblare şi inspecţie cu ajutorul manipulatorilor. Sînt aşa-numiţii roboţi cu coordonare ochi-mînă. În sfîrşit, roboţii din generaţia a III-a sînt roboţii viitorului, capabili să se adapteze la un mediu variabil, să înveţe din experienţă, deci capabili de performanţe din ce în ce mai „inteligente".

Dezvoltarea roboţilor se datoreşte necesităţilor apărute în cîteva domenii distincte ale activităţii umane şi anume:

---

[1] B. Fontaine, *Les robots deviennent-ils majeurs?* în „L'Informatique nouvelle", febr. 1977, p. 4–15.

Scanned with OKEN Scanner

— activităţile repetitive, cu caracter automat, în care latura creativă a efortului uman este aproape nulă; este vorba de operaţiuni de prelucrare, asamblare, triere, controlare, care se execută în serii de ordinul miilor;

— activităţile ce se desfăşoară în condiţii nocive pentru om, ca cele din domeniul nuclear, din industria siderurgică, la mari adîncimi sau în spaţiul cosmic;

— activităţile de mare finețe și precizie cum sînt cele implicate de microelectronică, în care performanțele medii ale omului se dovedesc insuficiente;

— ajutorarea marilor handicapaţi fizici, cărora le oferă posibilitatea de a acţiona asupra mediului.

Capitol al bioingineriei, robotica vine să completeze în mod spectaculos seria realizărilor tehnice utile, bazate pe modelarea omului.

5.1. Structura şi funcţiunile robotului. Performanțe

Dintre numeroasele definiţii care s-au dat roboţilor, o reţinem pe următoarea: „un robot este un automat adaptabil la un mediu complex, înlocuind sau prelungind una sau mai multe funcţiuni ale omului, în acţiunea sa asupra mediului“[1]. Autorul acestei definiţii insistă asupra caracterului *adaptabil* al robotului, arătînd că prin aceasta robotul îşi măreşte domeniul de acţiune, poate fi produs în serie mai mare şi devine mai ieftin.

Oricare ar fi destinaţia robotului, el trebuie să îndeplinească trei funcţiuni diferite: să-şi formeze o reprezentare a mediului înconjurător, să ia o decizie în funcţie de scopul pe care îl are de îndeplinit şi, în sfîrşit, să acţioneze asupra mediului înconjurător.

În lumina acestor trei funcţiuni specifice, un robot are următoarea structură, reprezentată schematic în fig. 5.1, în care deosebim sensorii, calculatorul şi manipulatoarele.

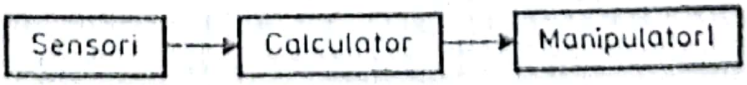


Fig. 5.1

[1] J. Guittet, *Le projet pilote Spartacus*, în „Buletinul I.R.I.A. (Institut de recherche d'Informatique)“ nr. 46, iunie 1978, p. 7—11.

Scanned with OKEN Scanner

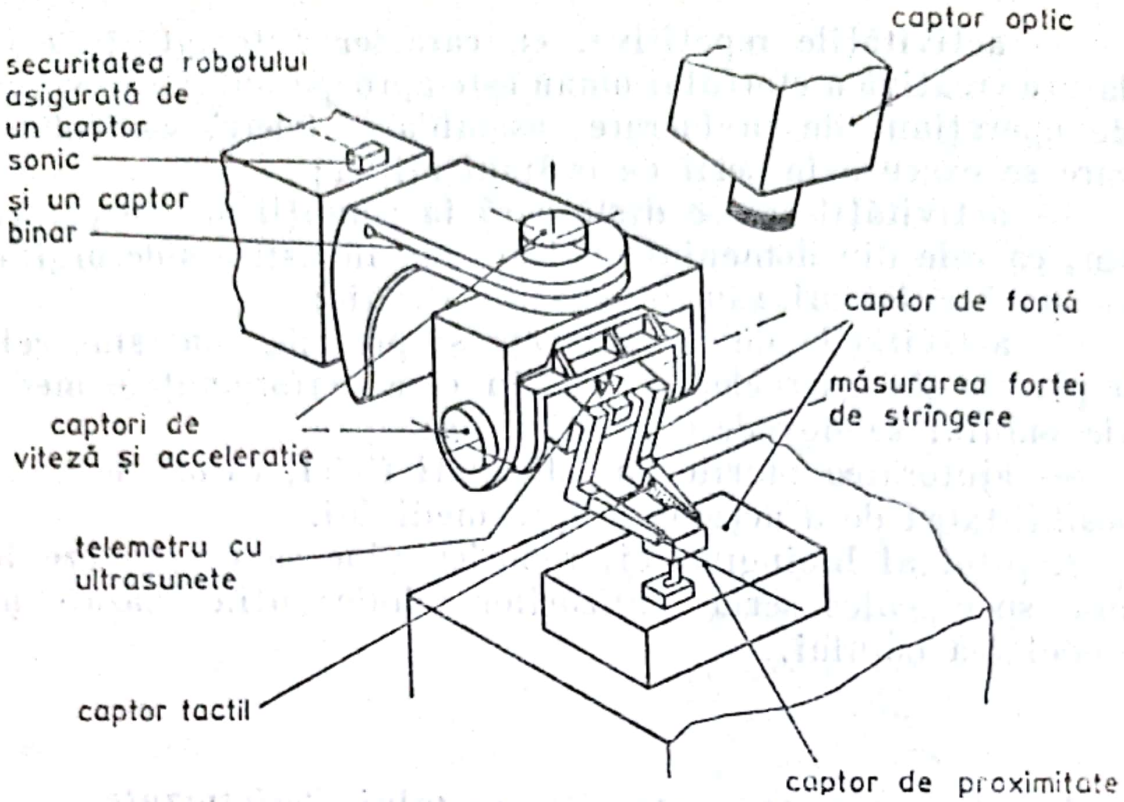


Fig. 5.2

Legătura cu mediul înconjurător se efectuează prin intermediul sensorilor (tactili, de forță, de presiune, optici, de temperatură etc.) care îi furnizează informații asupra obiectelor de manipulat, precum și prin „manipulatorii" ce acționează asupra acestor obiecte.

Sensorii de contact sînt montați chiar pe manipulator, adică la extremitatea brațului sau degetelor robotului. În fig. 5.2. este reprezentat brațul unui robot care trebuie să plaseze o șurubelniță într-o fantă[1]. Un captor optic dă informații asupra distanței șurubelniță-fantă, ceea ce permite poziționarea corectă a brațului. Comanda fină a deplasării mîinii se face cu ajutorul captorilor de proximitate, iar cu ajutorul traductorilor de presiune, forță, tensiune, se reglează poziția corectă a șurubelniței între degetele manipulatorului. Diferite tehnici sînt utilizate pentru realizarea „pipăitului artificial". Astfel, la Stanford Research Institute (U.S.A.) s-a realizat o mînă artificială (fig. 5.3) prevăzută cu sensori tactili interni și externi; forța ce acționează asupra fiecărui sensor, deplasează un inel, solidar cu o diafragmă ce modulează intensitatea luminoasă emisă de o diodă electrolumi-

[1] M. Ferretti, *Le dossier de la robotique industrielle*, în „Le Nouvel Automatisme" nr. 2, nov. 1978, p. 315–327.

Scanned with OKEN Scanner

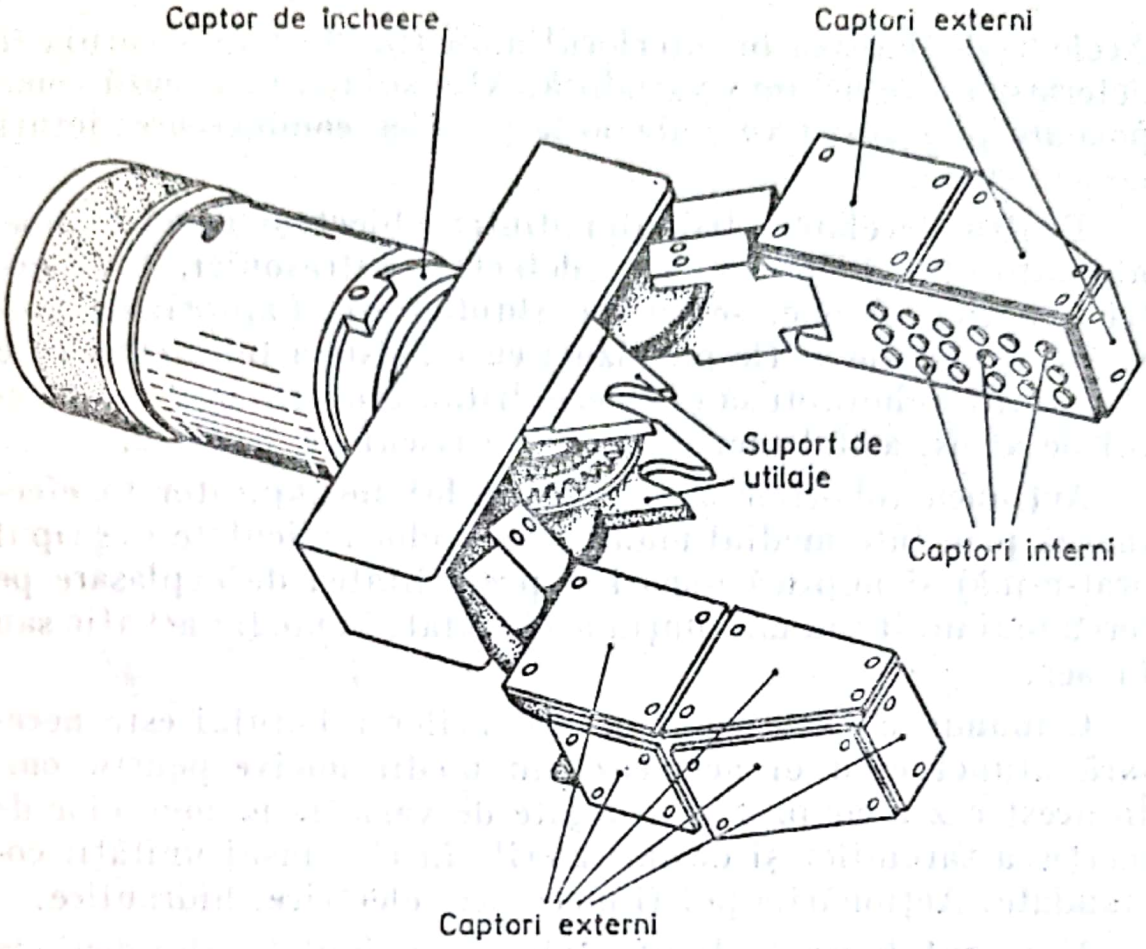


Fig. 5.3

niscentă și primită de un fototranzistor. Este un dispozitiv de tip analogic.

În Japonia s-a realizat o mînă artificială cu două degete paralele, avînd fiecare o matrice cu 80 de ace ce culisează liber pe o direcție perpendiculară pe fiecare deget (fig. 5.4).

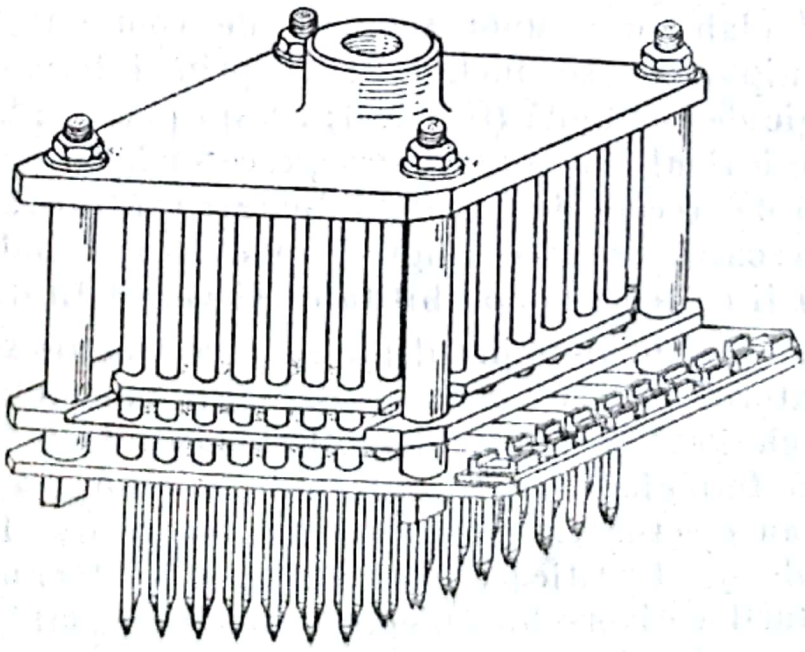


Fig. 5.4

Scanned with OKEN Scanner

Acele se deplasează în interiorul unui transformator căruia îi determină o reluctanţă variabilă. Alte soluţii utilizează componente piezorezistive, substanţe plastice conductoare, jeturi de aer etc.

Pentru decelarea distanţei dintre obiect şi degetele manipulatorului se pot utiliza detectori ultrasonici, fotoelectrici, optici, magneto-electrici, fluidici etc. Captorii de proximitate trebuie să fie prevăzuţi cu un sistem telemetric care să permită robotului să evalueze distanţa dintre braţ şi obiectul de atins, astfel încît să se evite riscul de ciocnire.

Acţiunea roboţilor asupra mediului înconjurător se efectuează prin intermediul manipulatoarelor articulate (de tipul braţ-mînă) şi implică uneori şi posibilitatea de deplasare pe teren mai mult sau mai puţin accidentat, în mediu acvatic sau în aer.

Comanda de la distanţă a mişcărilor robotului este necesară atunci cînd el activează în medii nocive pentru om. În acest caz apar probleme legate de variaţia momentelor de inerţie a sarcinilor şi de întîrzierile în răspunsul unităţii comandate. Acţionările pot fi mecanice, electrice, hidraulice.

Numărul de grade de libertate al manipulatorului depinde de complexitatea operaţiilor de executat: de exemplu, pentru transportul unui obiect pe un plan orizontal sînt necesare doar două grade de libertate, iar pentru a înşuruba o piuliţă sînt necesare cel puţin şase.

Coordonarea ochi-mînă, caracteristică roboţilor din generaţia a II-a, implică prelucrarea informaţiilor sosite de la sensori şi elaborarea unor semnale de comandă. Circuitul sensor-manipulator se închide deci prin intermediul unui sistem logic de comandă (fig. 5.5); acesta poate fi un calculator, un minicalculator sau un microprocesor încorporat. Există o tendinţă de trecere de la calculatoarele centralizate mari la microprocesoare, ceea ce asigură robotului o independenţă relativă şi îi măreşte adaptabilitatea şi versatilitatea.

Una din principalele probleme pe care trebuie să le rezolve calculatorul este aceea a identificării obiectelor pe care robotul trebuie să le manipuleze. Este o problemă de „recunoaştere a formelor“ asupra căreia, aşa cum s-a arătat în cap. 4, s-au efectuat numeroase studii teoretice. Practic, se pune problema identificării formelor, a culorilor, a poziţiilor şi a orientărilor diverselor obiecte în scopul asamblării, a sortării, a controlului.

Scanned with OKEN Scanner

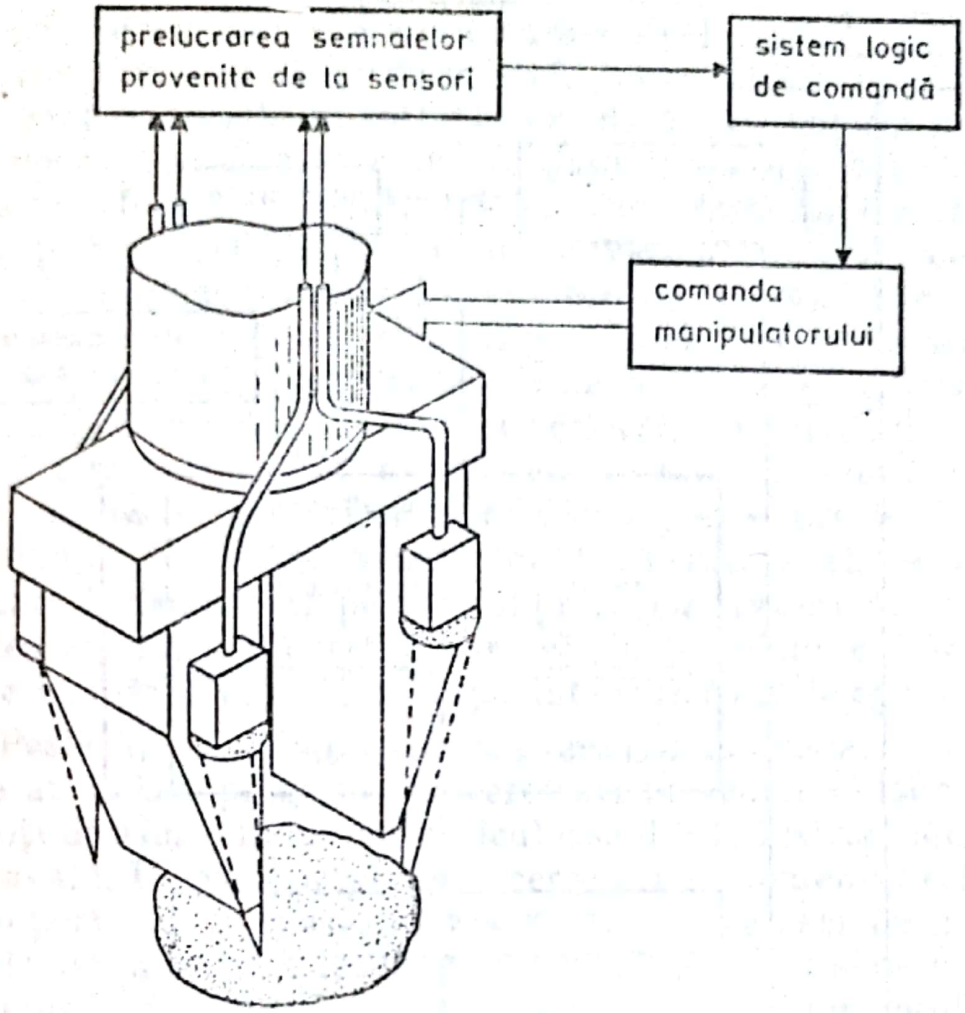


Fig. 5.5

Un sistem de comandă cu buclă închisă este prezentat schematic în fig. 5.6. Pe baza informaţiilor primite asupra mediului, a stării manipulatorului şi a sarcinii de executat, calculatorul elaborează comanda de deplasare a manipulatorului. În memoria calculatorului trebuie să se găsească un model al comportării robotului, dat de programator. Dacă acest model se perfecţionează pe parcursul funcţionării robotului, avem de-a face cu un robot „instruibil" din generaţia a III-a, a viitorului.

5.2. Roboţi industriali şi medicali (exemple)

În lume există în prezent peste o sută de mii de roboţi utilizaţi în operaţii de sudură, vopsitorie, turnarea materialelor plastice, alimentarea preselor şi a cuptoarelor, prelucrarea

Scanned with OKEN Scanner

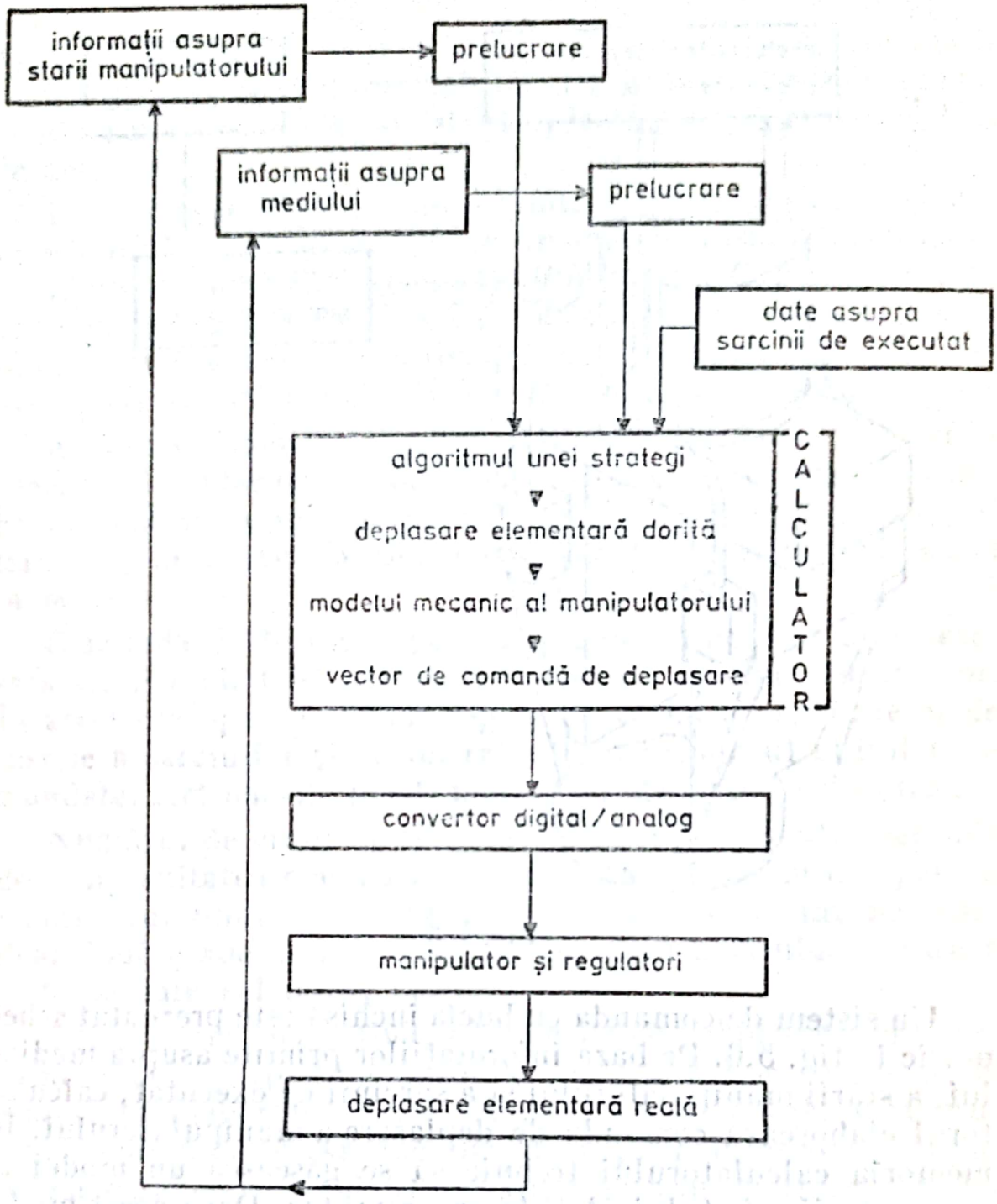


Fig. 5.6

metalelor, încărcarea și descărcarea mașinilor unelte, controlul barelor în reactorii nucleari, lupta contra focului, automatizarea turnării oțelului, lucrări submarine, activitatea în spațiul cosmic etc.

În 1973, societatea Hitachi din Japonia a realizat robotul Hivip Mk-5 capabil să inspecteze circuitele imprimate și să găsească defectele[1]. Roboții din seria Hivip sînt prevăzuți cu

[1] E. Masakasu, *A Prototype Intelligent Robot*, Trans. IEEE C21, febr. 161 (1972).

Scanned with OKEN Scanner

tuburi videocaptoare, cu un sistem de calcul şi cu manipulatoare. Spre deosebire de roboţii primitivi din această serie care sînt prevăzuţi cu instrucţiuni detaliate privind succesiunea operaţiilor de asamblare, în tipurile mai evoluate, instrucţiunile iau forma unei schiţe tridimensionale. O cameră de televiziune priveşte schiţa, iar o a doua cameră priveşte şi localizează colecţia de elemente ce trebuie asamblate; un calculator comandă mişcările cele mai economice ce trebuiesc executate pînă se obţine asamblarea dorită. Mîna artificială poate executa 7 tipuri de mişcări. Un model perfecţionat (în studiu) îl prezintă sistemul mobil de inspecţie, telecomandat, destinat supravegherii reactorilor nucleari. El este prevăzut cu un manipulator purtînd sensori de temperatură şi de vibraţie pe care îi deplasează pe suprafaţa dispozitivului de inspectat. Sistemul mai comportă o cameră de televiziune care transmite imaginile obiectelor inspectate spre consola operatorului.

Peste 70 de laboratoare japoneze industriale şi universitare au lansat programe de cercetări în vederea elaborării de roboţi destinaţi muncilor periculoase din industria siderurgică şi navală. Un vast program de cercetare în domeniul roboticii, pe o perioadă de 7 ani, în valoare de cîteva zeci de milioane de dolari, a fost iniţiat de guvernul japonez, în special pentru domeniile industriale, medicale şi a serviciilor publice. În prezent, Japonia dispune de cca 56 000 de roboţi, situîndu-se pe primul loc în ierarhia mondială. Mai mult de 40% din roboţii japonezi sînt exploataţi în industria de automobile, 20% în industriile electrice şi chimice, iar restul în domeniul prelucrării metalelor, a ceramicii, a industriei textile.

În S.U.A., pe lîngă realizările din domeniul industrial, robotica se dezvoltă pe baza unei puternice activităţi de cercetare dusă în cadrul universităţilor şi a institutelor de profil.

La Stanford Research Institute, în cadrul unui vast program de inteligenţă artificială s-a studiat şi realizat un robot-Shakey — legat prin radio de un calculator. Informaţiile, furnizate de o cameră videocaptoare şi de sensorii tactili, sînt prelucrate de calculator, care comandă mişcările. Shakey poate asambla cutii de diverse forme şi culori în structuri prestabilite. El îşi poate aranja un plan înclinat pentru a se urca pe o platformă şi a lua obiectul dorit. Sînt necesare 30 minute pentru a îndeplini această sarcină, 20 minute fiind necesare pentru calcul (un calculator SDS 940 utilizat în time-sharing) şi 10 minute pentru mişcare. E interesant de remarcat că elaborarea programelor a durat aproape un an.

Scanned with OKEN Scanner

Atît în S.U.A. cît şi în U.R.S.S., s-au desfăşurat cercetări intense în direcţia „roboticii spaţiale" adică a roboţilor capabili să execute operaţii complexe în spaţiul cosmic, controlaţi de pe pămînt.

Unul dintre exemplele spectaculoase de roboţi lunari, comandaţi parţial, este robotul sovietic Lunahod 16 care s-a plimbat pe Lună, a colectat eşantioane din solul lunar şi s-a reîntors pe pămînt. Un robot similar „Lunar Rover" a fost folosit de americani pentru explorarea solului lunar. Dăm mai jos cîteva date comparative, privind cei doi roboţi[1].

	Lunar Rover	Lunahod I
Greutate	210 kg	750 kg
Lungime	310 cm	220 cm
Lăţime	205 cm	214 cm
Înălţime	115 cm	138 cm
Capacitate	2,3 m^3	6,5 m^3
Nr. de roţi	4	8
Diametrul roţii	80 cm	50 cm
Călătorii	3	intermitente
Distanţa	36 km	8 km
Durata	12,5 h	9 zile lunare
Putere	Două baterii AgZn de 36 V şi 121 amp. oră	Reţea polară-baterii Rezervă cu radioizotopi

Un domeniu în care roboţii au început să fie utilizaţi este cel al industriei de automobile şi avioane. Începînd din 1975, General Dynamics (S.U.A.) şi-a echipat atelierele cu roboţi destinaţi găuririi şi asamblării panourilor de aluminiu pentru aripile şi fuselajele avioanelor; precizia de poziţionare a găurilor este de ordinul a 50 de microni.

În ceea ce priveşte robotica medicală, în cadrul Institutului de Cercetări de Informatică şi Automatică (IRIA) din Franţa, a luat naştere un proiect purtînd numele de „Spartacus" (simbolizînd eliberarea omului de sclavia anumitor munci şi defecte fizice). S-a pus problema construirii unui robot comandat de un handicapat fizic, lipsit de motricitatea membrelor superioare. Telemanipulatorul trebuie să fie versatil (polivalent şi adaptiv) şi să aibă precizie şi rapiditate de execuţie. Aceste proprietăţi implică un flux informa-

[1] J. F. Young, *Robotics*, Butterworth, Londra, 1973.

Scanned with OKEN Scanner

țional ridicat între handicapat și aparat, ceea ce se obține prin următoarele căi:

— emiterea, în paralel, de informații independente, utilizînd toate resursele bolnavului (mișcări ale capului, ale gurii, ale mușchilor feței, emisiuni vocale etc.);

— crearea unui limbaj, accesibil bolnavului, care să utilizeze toate aceste resurse;

— utilizarea de feed-back-uri senzoriale care să permită un control mai bun al aparatului.

Dirijarea manipulatorului trebuie să țină seama de următoarele etape ale funcționării sale:

— apropierea imprecisă de obiect, prin cunoașterea aproximativă a mediului înconjurător;

— apropierea precisă de obiect;

— apucarea obiectului;

— deplasarea obiectului pe o anumită traiectorie;

— aducerea sa în punctul de destinație;

— poziționarea corectă a obiectului.

Unele dintre aceste etape sînt rezolvate de om în cazul unui telemanipulator; în cazul unui manipulator automat sînt necesare programe de recunoaștere a formelor.

În cadrul proiectului Spartacus, laboratorul de automatică din Montpellier a studiat diversele posibilități de a reda mișcarea bolnavilor atinși de paraplegie, adică lipsiți de motricitatea și sensibilitatea membrelor inferioare. O primă posibilitate constă în a restabili în mod artificial semnalele de comandă, prin stimularea electrică și implantarea de captori, înainte ca mușchii să-și piardă complet proprietățile contractile. O altă posibilitate o constituie utilizarea de sisteme poliarticulate bipede, comandate de microprocesoare și care simulează mișcările naturale ale mersului și ale poziției așezate. Pe această ultimă linie, se efectuează în Franța cercetări în cadrul proiectului OMAMI (Orteză Modulară Activă a Membrelor Inferioare). În cadrul Universității din Belgrad, s-a realizat un „exoschelet" activ, legat la membrele inferioare ale bolnavului care poate să-și comande mersul, oprirea, viteza și direcția de deplasare.

La Universitatea Waseda din Japonia s-au realizat în ultimii ani un braț artificial-proteză și un picior artificial ce permite pășirea în ritmul a 1,2 secunde pe pas. Aici s-a realizat și un robot android cu două mîini, două picioare și două camere de televiziune; el poate vorbi, poate recunoaște vocea stăpînului și este capabil de a transporta greutăți de 30 kg.

Scanned with OKEN Scanner

5.3. Roboţii viitorului: adaptivi şi instruibili

Roboţii din generaţia a III-a vor dezvolta, în continuare, capacitatea de decizie, versatilitatea şi adaptarea la situaţii noi, din ce în ce mai complexe. Toate aceste performanţe se bazează pe programe de inteligenţă artificială care includ descrierea, reprezentarea, rezolvarea de probleme, recunoaşterea de forme etc.[1]

Pentru a putea rezolva sarcinile practice pentru care sînt construiţi (a înşuruba un bulon, a apuca un pahar, a vopsi o suprafaţă), robotul este înzestrat cu un uriaş potenţial logic, pentru elaborarea căruia s-a depus o intensă activitate teoretică şi practică. Modelele teoretice privind adaptarea şi instruirea, care au fost prezentate în capitolele 3 şi 4, sînt paşi în această direcţie. Căci, aşa cum s-a arătat, adaptarea şi instruirea sînt două laturi fundamentale ale unui sistem inteligent[2]. Prin studierea modului în care sistemele biologice se adaptează şi învaţă, s-au obţinut sugestii valoroase în direcţia modelării, prin mijloace tehnice, a acestor procese.

Indiferent dacă vor avea o formă humanoidă sau dacă vor fi instalaţii automate specializate conduse de calculator, roboţii viitorului vor dispune de o autonomie crescîndă pe baza acestor două proprietăţi fundamentale; posibilitatea de adaptare le va permite să îndeplinească o varietate mare de sarcini în condiţii neprevăzute de om, iar capacitatea de a învăţa le va permite să-şi perfecţioneze funcţionarea pe baza propriei experienţe. Toate acestea presupun însă structuri informaţionale complexe care, pe baza unor programe minimale să poată elabora strategia necesară îndeplinirii scopului. Aceste scopuri vor fi, desigur, foarte variate. În afară de roboţii industriali se vor dezvolta roboţii medicali, cei din serviciile publice, roboţii casnici, cei din muncile agricole, cei utilizaţi la mare adîncime sau în spaţiul cosmic.

Ce proporţii poate lua această lume a roboţilor inteligenţi, e greu de spus. Deocamdată este clar că ea marchează începutul unei revoluţii industriale cu mari implicaţii sociale şi eco-

---

[1] P. Winston, *Artificial Intelligence*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading Massachussets, 1977.

[2] N. V. Findler, *Artificial Intelligence*, în Encyclopedia of Computer Science, Petrocelli-Charter, New York, 1976.

Scanned with OKEN Scanner

nomice[1]. Ea oferă şi prilej de meditaţie filozofică, punînd problema raportului dintre structurile informaţionale biologice şi cele tehnice, a puterii lor cognitive. În măsura în care primele vor fi mai bine cunoscute, se vor ivi idei pentru elaborarea de structuri tehnice cu mare capacitate decizională. Oricum ar fi ele concepute, aceste structuri nu vor putea dispune — prin proiectare — de tot bagajul informaţional necesar activităţii lor complexe; ele vor trebui să acumuleze date pe parcursul funcţionării, organizîndu-şi structura şi îmbunătăţindu-şi performanţele, adică punînd în evidenţă cele două laturi fundamentale ale unui sistem evolutiv: adaptarea şi instruirea.

[1] M. Drăgănescu, A doua revoluţie industrială. Microelectronica, automatica, informatica—factori determinanţi, Ed. Tehnică, 1980.

Scanned with OKEN Scanner

Bioengineering of Adaptive and Learning Systems

Bioengineering is one of the new fields of research that uses technical and mathematical concepts in the study of living systems; on the other hand, bioengineers can apply, in the technical domain, some of the mechanisms observed in the living world.

In this book, the adaptive and learning processes are analysed in point of view of both the biologist and the engineer, using as much as possible the same terms. The biological approach is a synthetic and critical one, the emphasis being laid on the specific mechanisms of each level of organization of the living systems. The engineering approach emphasizes some models on the adaptive and learning mechanisms which lead to a deeper understanding of the processes or to usefull applications.

New points of view are introduced by the author in the engineering as well as biological approach.

The book gives an account on the progress made in the study and modelling of the adaptive and learning processes and opens new outlooks for future research.

Scanned with OKEN Scanner

Биотехника адаптирующихся и самообучающихся систем

Биотехника — одна из новых отраслей исследования, которая использует математические и технические концепты в исследовании биологических систем. В данной книге анализируются адаприрующиеся и самообучающиеся системы как с точки зрения инЛенера так и биолога, используя по возможности, один и тот же язык.

Биологическая интерпретация делается критическим путём и подчёркиваются способы собственны каждому уровню организации биологических систем.

Техническая интерпретация показывает разные модели адаприрующихся и самообучающихся систем, которые ведут к лучщему освоению процессов происходящихся в практике.

Автор внедряет новые идеи как с биологической так и с технической точки зрения.

Книга даёт итог результатов в исследовании и моделировании адаптирующихся и самообучающихся систем и открыэает новые пути для дальнейщих исследований.

Scanned with OKEN Scanner

Tabla de materii

Capitolul 1. **Sisteme autoorganizabile** 5

1.1. Importanţa proceselor de adaptare şi învăţare în lumea biologică 5

1.2. Utilitatea unor sisteme tehnice adaptive şi instruibile şi a unor modele teoretice 7

1.3. Bioingineria sistemelor adaptive şi instruibile 9

Capitolul 2. **Reflectare, comunicaţie, structură** 13

2.1. Conexiunea informaţională dintre sistem şi mediu..... 13

2.2. Transformarea informaţiei în organizare structurală 21

Capitolul 3. **Adaptarea** 25

3.1. Adaptarea la nivelul celulei 25
- 3.1.1. Legătura dintre celulă şi mediu 25
- 3.1.2. Mecanismele de reglaj ale celulei 30
- 3.1.3. Celula nervoasă 34
- 3.1.4. Modelarea celulei 39

3.2. Structuri celulare adaptive 42
- 3.2.1. Ansambluri celulare neuronale 43
- 3.2.2. Modele de structuri celulare 45
- 3.2.3. Automate celulare 47

3.3. Sisteme automate tehnice şi biologice 51
- 3.3.1. Sisteme de reglaj automat 52
- 3.3.2. Sisteme de reglaj adaptive 57
- 3.3.3. Sisteme de reglaj biologice 62

3.4. Sisteme adaptive cu autoreproducere 78
- 3.4.1. Adaptarea filogenetică 78
- 3.4.2. Ingineria genetică 94
- 3.4.3. Simularea evoluţiei 99

3.5. Adaptarea prin sincronizare 108
- 3.5.1. Oscilaţii, periodicitate şi sincronism 109
- 3.5.2. Adaptarea bioritmurilor 112

Capitolul 4. **Învăţarea** 118

4.1. Adaptarea structurală şi adaptarea comportamentală. Rolul prelucrării informaţiei 118

4.2. Date psihologice şi neurologice asupra procesului de învăţare 121

4.3. Modele matematice ale învăţării 127

Scanned with OKEN Scanner

4.4. Modele informaționale ale învățării 133
4.4.1. Învățarea simplă de tip instrumental 133
4.4.2. O măsură calitativă a informației 147
4.4.3. Model de instruire semantică 154
4.5. Modele structurale ale sistemelor instruibile 161
4.5.1. Modul de diferențiere a stimulilor de rezultate 163
4.5.2. Evaluarea utilităților rezultatelor 166
4.5.3. Transformarea informației în organizarea structurală 167
4.6. Învățarea recunoașterii formelor 172
4.6.1. Aspecte biologice 172
4.6.2. Neurocibernetica agnoziilor 175
4.6.3. Modele matematice și tehnice 181
4.6.4. Simularea pe calculator 191
4.7. Învățarea rezolvării problemelor 195
4.7.1. Psihologia rezolvării 197
4.7.2. Modele matematice și tehnice 200

Capitolul 5. **Robotica** 208
5.1. Structura și funcțiunile robotului. Performanțe 209
5.2. Roboți industriali și medicali (exemple) 213
5.3. Roboții viitorului: adaptivi și instruibili 218

Scanned with OKEN Scanner

Unul dintre principiile fundamentale care stau la baza funcționării sistemelor de reglaj automat este acela al conexiunii inverse. Dar pe la mijlocul secolului nostru s-a observat că același principiu este utilizat și de ființele vii în funcționarea lor și că, la un anumit nivel de abstractizare, procesele de reglaj care au loc în lumea inertului și a viului ascultă de aceleași legi. Analogia unificatoare propusă de cibernetică a determinat studierea, într-o optică nouă, a proceselor biologice și, în același timp, elaborarea de sisteme tehnice din ce în ce mai autonome.

Aplicarea metodelor și conceptelor inginerești în lumea viului, introducerea limbajului matematic și încercările de modelare a unor procese vitale cu dispozitive tehnice și, în special, cu ajutorul calculatorului electronic, toate acestea reprezintă noi și fertile căi de cercetare din cadrul bioingineriei.

EDITURA
ȘTIINȚIFICĂ
ȘI ENCICLOPEDICĂ

Lei 7,75

Scanned with OKEN Scanner